

UNIVERSITETET I OSLO
Institutt for informatikk

**Hvordan CDN
påvirker
internettets
egenskaper?**

Masteroppgave

Eirik Andreas
Husabø

Mai 2012



Hvordan CDN påvirker internettets egenskaper?

Eirik Andreas Husabø

It was the first, and being first, was best,
but now we lay it down to ever rest.
Now pause with me a moment, shed some tears.
For auld lang syne, for love, for years and years
of faithful service, duty done, I weep.
Lay down thy packet, now, O friend, and sleep.

Requiem of the ARPANET, Vinton Cerf

Kolofon

© 2013 Eirik Andreas Husabø

Hvordan CDN påvirker internettets egenskaper?

Eirik Andreas Husabø

Dokumentet er typesatt med
L^AT_EX, som er utviklet av Leslie Lamport,
basert på T_EX som er laget av Donald Knuth.
Referanselisten er produsert av biber.

Til Olivia Filippa

Sammendrag

Bruken av internett er sterkt voksende og det kommer til stadighet nye tjenester og applikasjoner som behøver mer båndbredde for å oppnå god kvalitet. Content Delivery Networks (CDN) bidrar med å levere innholdet nærmere brukeren og dermed gi brukeren høyere kvalitet på overføringen. Utviklingen av internett i årene fremover er i følge flere avhengig av at CDN benyttes. Forskningsspørsmålet i denne oppgaven er derfor *hvordan CDN påvirker internettets egenskaper?* Dette er et bredt utgangspunkt og belyses derfor gjennom perspektivene *skalerbarhet, pålitelighet, sikkerhet, tilpasningsevne og regulering*. I tillegg stilles spørsmålet *hvordan CDN påvirker internettets nettnøytralitet?*

Tilnærmingen i denne oppgaven har vært en fortolkende kasusstudie. En rekke bøker, artikler, rapporter og andre kilder er gjennomgått, og flere intervjuer er gjennomført for å samle data til å belyse forskningsspørsmålet. Det er videre benyttet teori som beskriver arkitektur, ende-til-ende-prinsippet og nettnøytralitet. Studien konkluderer med at CDN påvirker internettets egenskaper i ulik grad. I lys av teori om overlagsnettverk, bedres internettets skalerbarhet, pålitelighet og sikkerhet ved at ulike CDN benyttes. Videre argumenteres det for at tilpasningsevnen i internett på tross av sin generative kapasitet, ikke har vært bra nok. CDN endrer dette ved å muliggjøre innføring av ny teknologi på en effektiv måte. Det argumenteres også for at CDN endrer internettets regulering. I det siste forskningsspørsmålet konkluderes det med at CDN ikke påvirker internettets nettnøytralitet hverken teknologisk, økonomisk eller politisk.

Tjenester som CDN tilbyr er stadig mer viktig for effektiv innhold- og applikasjonslevering, og dermed også viktig for internettets videre utvikling. Ytterligere forskning på området er derfor nødvendig.

Nøkkelord: Content Delivery Networks, Internett, nettnøytralitet

Innhold

Figurer	ix
Tabeller	ix
Forord	xi
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Motivasjon	2
1.3 Kasus	3
1.4 Forskningsspørsmål	4
1.5 Struktur på oppgaven	5
2 Gjennomgang av litteratur	7
2.1 Internettets historie	7
2.2 Internettets videre utvikling	8
2.3 Trafikkutvikling i internett	9
2.4 Verdikjede	9
2.5 Content Delivery Networks	11
2.6 Akamai	12
2.7 Ulike tilnærminger	13
2.8 Måling av effekt	13
2.9 Bidrag	14
3 Teori	17
3.1 Arkitektur	17
3.2 Ende-til-ende-prinsippet	19
3.3 Nettnøytralitet	24
4 Metodologi	33

4.1	Paradigme	33
4.2	Kasusstudie	34
4.3	Metode for datainnsamling	36
4.4	Egne refleksjoner	39
5	Kasus	43
5.1	Historien bak	43
5.2	Hva er et CDN?	44
5.3	Funksjoner i et CDN	47
5.4	Hvilke aktører finnes	50
5.5	Oppsummering	54
6	Funn	55
6.1	Eiere av infrastruktur	55
6.2	Innholdsleverandører	60
7	Diskusjon	69
7.1	Påvirker CDN internett?	69
7.2	Skalerbarhet	69
7.3	Pålitelighet	71
7.4	Sikkerhet	75
7.5	Tilpasningsevne	77
7.6	Regulering	80
7.7	Nettnøytralitet	81
8	Konklusjon	87
	Referanseliste	91

Figurer

2.1	Klassisk utveksling av trafikk [83, s. 4]	10
2.2	Ny organisering av samtrafikk [83, s. 4]	10
5.1	Komponentene i Akamai sitt CDN [98, s. 6]	45
5.2	Optimering av ruter Akamai Technologies	48
7.1	Akamai løser IPv6-problemet [9]	78

Tabeller

3.1	Oppsummering av ulike argumenter i debatten om nettnøytralitet	31
4.1	Liste over intervjuer	38
5.1	Effekt av distanse på gjennomløp og nedlastningshastighet, ved nedlastning av en 4 GB DVD. Tabellen er oversatt og forenklet [98]	47
5.2	Oversikt over ulike CDN	53
6.1	Tjenestetilbyderes oppfatning av CDN	61
6.2	Norske innholdsleverandører og deres bruk av CDN	67

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som et ledd i oppfyllelsen av graden «Master i informatikk: design, bruk og interaksjon» ved Institutt for Informatikk, Universitetet i Oslo, og tar for seg hvordan Content Delivery Networks påvirker internettets egenskaper. Det har vært spennende å undersøke et tema som befinner seg innenfor internettets rammer. Ikke minst for å lære mer om internett som system, men også for å få en forståelse av hvordan internett påvirker oss som samfunn. Prosessen med oppgaven har gått over halvannet år, og har vært både spennende, morsom, utfordrende og læringsrik. I løpet av perioden har jeg hatt flere intervjuer og samtaler med interessante mennesker, som både har beriket oppgaven og meg med sine synspunkter. Tusen takk skal dere ha!

Jeg ønsker å rette en stor takk til min veileder, Ole Hanseth for gode råd og samtaler gjennom hele prosessen. Videre ønsker jeg å takke Lars Groth og Ben Eaton for tips og oppmuntringer underveis. En stor takk skylder jeg også til mine medstudenter i 6. etasje, Ole-Johan Dahls hus. Tallrike lunsjer, mye god kake og godt klima for diskusjon har gjort hverdagen med oppgaven til en fest. En stor takk går også til Martin for at du har bidratt med konstruktive tilbakemeldinger og korrekturlesning av oppgaven. Videre ønsker jeg å takke mine foreldre som også har hjulpet meg, både med både korrekturlesning og barnepass. Helt til slutt vil jeg takke min vakre kone, støttespiller og livsledsager, Birgitte - du er selve livet! Dessuten vil jeg takke min skjønneste datter Olivia Filippa, som kom til verden i begynnelsen av denne mastergraden. Det er utrolig å se hvor fort tiden har gått!

Soli Deo gloria

Eirik Andreas Husabø
Oslo, 24. mai 2013

Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Bruken av internett er sterkt voksende og vi konsumerer og produserer stadig mer innhold [12, 25, 134]. Både private forbrukere, næringsliv og myndigheter bidrar til denne veksten. Inflasjonen i konsum og produksjon av innhold fører til kø [98], samtidig som nye tjenester stiller høyere krav til gjennomløp¹ og rundetid². Både gjennomløp og rundetid adresseres av nye løsninger som for eksempel Content Delivery Networks (CDN). Et CDN mellomlagrer og finner korteste rute fra innholdet til brukeren. Kortere avstand gir større gjennomløp og bedre rundetid som igjen betyr bedre kvalitet på overføringen til brukeren.

Tjenestetilbydere³ som for eksempel Telenor og Broadnet, har sett med skepsis på den økende bruken av innhold [116]. Veksten i forbruk skaper en ubalanse i trafikken mellom innholdsleverandør og tjenesteleverandør, noe som medfører økonomiske konsekvenser for tjenesteleverandørene. Av den grunn ønsker flere tjenesteleverandører å begrense tilgang til båndbreddeintensiv trafikk, slik som video og IP-telefoni. De vil i stedet selge tilleggstjenester som gir større hastighet, prioritert linje og mer kapasitet. Ønsket om å sette ulik pris på trafikk i internett har skapt reaksjoner fra ulike miljøer. Spørsmålet om prioritering og diskriminering av trafikk blir i dag betegnet som debatten om «nettnøytralitet» [136]. Fra en side anføres det at internettets nøytralt fordi det er designet etter ende-til-ende-prinsippet [77]. Den nøytrale arkitekturen har videre lagt tilrette for nye tjenester og applikasjoner [80]. For å sikre fortsatt innovasjon i internett må den nøytrale arkitekturen lovfestes. Dermed unngår man å bli offer for

¹Av engelsk «throughput». Betegner antall transaksjoner som er utført i løpet av en gitt tid

²Av engelsk «round trip time» i internett. Betegner tiden det tar å sende en pakke til en mottaker og få svar tilbake om at den er kommet frem

³Betegner en leverandør av internettaksess gjennom egne eller leide linjer

tjenestetilbydernes ønske om å lage et differensiert marked [135, 138]. Fra en annen side argumenteres det mot en lovregulering av nettnøytralitet, i favør av tjenestetilbydere som vil prioritere trafikk. Det hevdes at en regulering vil kunne medføre utilsiktede konsekvenser som vil begrense mulighetene for videre innovasjon [73, 142]. Videre vil ikke en lovregulering av nettnøytralitet løse problemet med økende trafikk og høyere krav til båndbredde [26]. For å løse problemet med trafikk argumenteres det for å ta i bruk markedsøkonomiske mekanismer som kjøprising [142]. De ulike leirene i debatten om nettnøytralitet er opptatt av innovasjon og videre vekst i internett, men de synes uenige om hvilken vei en skal gå.

Uansett utfall av debatten om nettnøytralitet, er CDN stadig mer interessant for internettets videre utvikling [134]. Det er argumentert for at CDN fremstår som et overlagsnettverk⁴ i internett [29]. Det betyr at teknologien legger seg over det eksisterende internett og fremstår som en ny plattform, på samme måte som internett fremstod over telefonnettet [147]. Et overlag har konsekvenser for både teknologi, økonomi og politikk [29]. CDN har hatt en enorm økning i bruk de senere årene [134], og vil trolig ha det i fremtiden. Derfor er det viktig å forstå hva CDN er og de konsekvenser de påfører omgivelsene. I møte med debatten om trafikkstyring er forståelsen av CDN viktig for å kunne sin hvorvidt slike påvirker i internettets nøytralitet.

1.2 Motivasjon

«The internet is the first thing that humanity has built that humanity doesn't understand, the largest experiment in anarchy we've ever had»
Eric Schmidt, CEO Google

Vinteren 2012 ble jeg introdusert for prosjektet «The Internet Economy». Det hadde som mål å undersøke hvordan verdier, makt og innovasjon blir laget og distribuert i internettøkonomien, og hvordan dette påvirker aktørene i internett og til slutt fremtiden til internett. Prosjektet var et samarbeid mellom London School of Economics and Political Science, Senter for teknologi, innovasjon og kultur, og Institutt for informatikk ved Universitetet i Oslo, og Telenor. Der fikk jeg blant annet kjennskap til CDN [40] og hvilket behov slike søker å dekke. Videre fikk jeg kunnskap om utfordringene med manglende finansiering til utbygging av infrastruktur, og stadig større forbruk av båndbredde [48, 70]. Disse temaene fanget min interesse, og jeg begynte å undersøke hva et CDN er, hvordan det virker og hvilke aktører som finnes. Videre prøvde jeg å finne ut hvem som benytter seg av CDN og

⁴Av engelsk «overlay network». Betegner et nettverk som er bygget over et annet nettverk

hva de ulike aktørene i internettets verdikjede mener om fenomenet. Jeg fant ut at CDN var så interessant at jeg ønsket å ha dette som tema for denne masteroppgaven.

I tillegg har internett har fasinert meg siden jeg fikk mitt første modem. Dengang tenkte jeg ikke mye på hvordan det fungerte, men var mest opptatt å være på nett. Dette har endret seg. Jeg er ikke like opptatt av hva som finnes på nett, men heller hvordan det hele henger sammen, hvilken teknologi som benyttes og hvordan dette kan komme til å se ut i fremtiden. Hvordan internettet blir påvirket av de løsningene som dukker opp, er blitt stadig mer interessant for meg.

1.3 Kasus

I Request for Comments (RFC)⁵ nummer 3466 beskrives CDN slik:

«Content Delivery Network or Content Distribution Network. A type of CONTENT NETWORK in which the CONTENT NETWORK ELEMENTS are arranged for more effective delivery of CONTENT to CLIENTS. Typically a CDN consists of a REQUEST-ROUTING SYSTEM, SURROGATES, a DISTRIBUTION SYSTEM, and an ACCOUNTING SYSTEM». [52]

Et Content Delivery Network består av et nettverk av tjenere⁶ som virker sammen for å levere innhold til brukere i internett på en kostnadseffektiv og skalerbar måte. Det et CDN gjør er å distribuere innholdet til noder som ligger nærmere brukeren. Dermed reduseres avstanden til innholdet og kvaliteten på overføringen forbedres. Samtidig reduseres behovet for en stor og kostbar infrastruktur hos innholdsleverandøren.

Internett har en rekke utfordringer når det gjelder overføring av innhold. Feil i nettverket kan blant annet forekomme som følge av strømbrydd, kabelbrydd eller menneskelige feil som feilkonfigurering av maskinvare [98]. Det gjør at trafikken kan stoppe opp, eller bruke lenger tid enn nødvendig. En overføring begrenses for hvert punkt i nettverket som trafikken må igjennom. Ved feil i nettverket, forringes kvaliteten på overføringen ytterligere. Ulike CDN forsøker å adressere disse problemene ved å flytte innholdet nærmere brukeren og optimalisere ruten mellom bruker og innhold [98]. Et CDN består videre av ulike komponenter. Det første er et system for å *rute* trafikken på en optimal måte, også kjent som «mapping»[42]. Videre består et CDN av et

⁵Request for Comments er en publikasjon som utgis av Internet Engineering Task Force og Internet Society, hvis hensikt er å dokumentere spesifikasjoner, protokoller, prosedyrer og hendelser i internett [37, 76]

⁶begrepet «edge servers», «replica servers», «surrogates» eller «cache-servers» benyttes også, men jeg vil forholde meg til noder eller tjenere i denne oppgaven.

ulikt antall *noder* som leverer innholdet til sluttbrukeren. Et *leveringssystem* sørger for å samle innholdet fra kilden⁷, mens et *regnskapssystem* sørger for å samle data til fakturering av kunden. Det hele holdes sammen av et kommunikasjons- og kontrollsystem [40, 98].

De største leverandørene av CDN er Akamai, Level 3, Limelight og Edgecast. Disse leverer tjenester for å sikre pålitelig levering av statisk, dynamisk og strømmende⁸ innhold, og applikasjoner. Det er gjort undersøkelser som viser at CDN står for en signifikant andel av den trafikken som går i internett i dag[70]. Økningen i kapasitetskrevenende trafikk som video beskrives som årsaken til denne endringen. Endringen i måten trafikk utveksles på i internett skaper et paradigmeskifte for såvel arkitektur, politikk og økonomi i internett[29, 70]

1.4 Forskningsspørsmål

Utgangspunktet for denne oppgaven er CDN og internettets utvikling. Jeg ønsker å undersøke hva CDN er, hvordan et CDN virker og hvilke aktører som tilbyr CDN. Jeg ønsker videre å finne ut av hva aktører som innholdstilbydere og tjenesteleverandører mener om CDN og hvordan de mener CDN påvirker internettet. For å sette disse spørsmålene i en relevant kontekst er mitt overordnede forskningsspørsmål:

Hvordan CDN påvirker internettets egenskaper?

Jeg oppfatter dette som bredt, og ønsker derfor å undersøke forskningsspørsmålet gjennom følgende perspektiver:

- *Hvordan CDN påvirker internettets skalerbarhet?*
- *Hvordan CDN påvirker internettets pålitelighet?*
- *Hvordan CDN påvirker internettets sikkerhet?*
- *Hvordan CDN påvirker internettets tilpasningsevne?*
- *Hvordan CDN påvirker internettets trafikk?*
- *Hvordan CDN påvirker internettets regulering?*

Videre ønsker jeg å undersøke følgende:

- *Hvordan CDN påvirker internettets nettnøytralitet?*

⁷Betegnelsen «origin» kan også benyttes

⁸av engelsk «streaming»

Jeg mener disse spørsmålene kan gi svar på relevante problemstillinger knyttet til internettets videre utvikling og bruken av CDN i dette bildet.

1.5 Struktur på oppgaven

I dette kapittelet har jeg gitt kontekst for oppgavens tema og beskrevet min motivasjon og bakgrunn for å se nærmere på CDN. Videre har jeg gitt en kort introduksjon til oppgavens kasus og problemstilling.

Kapittel 2 I gjennomgangen av litteratur gis det en oversikt over artikler som beskriver internettets historie, utvikling og fremtid. Det argumenteres for at CDN står for en signifikant andel av dagens trafikk i internett. Videre gis det et innblikk i den forskning som er gjort på CDN og hvilke resultater det har gitt. Det avsluttes med å argumentere for hvorfor det kan være interessant å se nærmere på hvordan CDN påvirker internett.

Kapittel 3 I teorikapittelet presenteres ulike teorier som skal være grunnlaget for diskusjonen i oppgaven. Teorikapittelet gir et innblikk i hvorfor arkitektur er viktig i et system og hva generativ teknologi er. Videre gis det et overblikk over ende-til-ende-prinsippet, før nettnøytralitet introduseres.

Kapittel 4 I metodekapittelet presenteres først de filosofiske perspektivene som ligger til grunn for oppgaven. Dernest gis det en forklaring på hvorfor kasusstudie og et fortolkende paradigme benyttes, før det redegjøres for hvordan litteratur og data er samlet inn. Til slutt presenteres forfatterens refleksjoner rundt oppgaven.

Kapittel 5 I kasus presenteres oppgavens hovedtema. Kapittelet tar for seg historien til CDN, hva det er og hvilke komponenter et CDN inneholder. Det redegjøres videre for hva et CDN gjør og hvilke aktører som finnes.

Kapittel 6 I funn presenteres data og analyse av hva ulike tjenestetilbydere og innholdsleverandører mener om CDN.

Kapittel 7 I diskusjonen samles trådene fra teori, kasus og funn i en diskusjon. Den deles opp i hvordan CDN påvirker internettets egenskaper og hvordan CDN påvirker internettets nettnøytralitet.

Kapittel 8 I konklusjonen oppsummeres diskusjonen, hva som er bidraget til debatten og forslag til videre undersøkelse.

Gjennomgang av litteratur

I denne gjennomgangen av litteratur vil jeg forsøke å gi et overblikk over tidligere og aktuell forskning på Content Delivery Networks (CDN). Det finnes flere studier og artikler som gir omfattende beskrivelser av CDN, hvordan slike kan bygges effektivt og hvorvidt de fungerer etter hensikten. Det finnes rapporter som sier noe om internettets videre utvikling. I flere av disse rapportene anses CDN som en viktig brikke. Av de undersøkelser jeg har foretatt, er det, slik jeg oppfatter det, ikke gjort nok forskning på hvordan CDN påvirker internettets egenskaper. Målet med denne gjennomgangen er derfor å presentere det jeg har funnet av litteratur om CDN for å dermed sette rammen for forskningsspørsmålet. Mitt ønske er at denne studien skal være et bidrag til forskningen på hvordan CDN påvirker internettets egenskaper.

2.1 Internettets historie

Internett i betydningen av World Wide Web¹ er ikke eldre enn et par tiår. Med et enkelt oppsett av en nettside og en nettleser demonstrerte Tim Berners-Lee i 1990, hvor enkelt det var å dele informasjon med andre[16]. World Wide Web, eller verdensveven ble imidlertid bygget på et nettverk som hadde vokst frem fra begynnelsen av sekstitallet. Spenningsforholdet mellom USA og Sovjetunionen la grunnlaget for et teknologisk kappløp, som medførte store bevilgninger til forskning i USA. Viktige bidragsytere til utviklingen av internett var blant andre Paul Baran, som bidro med sin modell om distribuerte nettverk, Donald Davies, som definerte pakkesvitsjetechnologien, og Leonard Kleinrock, med sin matematiske modellering av pakkestyring [63, 64, 76]. I artikkelen *A brief history of the internet* gir forfatterne en god oversikt over hendelsesforløpet fra forskningsprosjektet DARPA [11] og ARPANET [86], til World Wide Web. Det gjør også Abbate i *Inventing the Internet* [1].

¹Internett defineres som et nettverk av nettverk, definert av TCP/IP protokoll stablen. World Wide Web er en informasjonsplass definert av URLs, HTTP og HTML, se <http://www.w3.org/Help/> for mer informasjon.

Historien om internett er viktig for å forstå dagens utfordringer i internett, med tanke på kapasitet og skalerbarhet. Videre er historien nyttig for å forklare bakteppet for et distribuert nettverk uten sentral styring.

2.2 Internettets videre utvikling

Internettets historie er relevant for å forstå internettets fremtid. Flere aktører setter søkelys på hvordan internett utvikler seg. Både i form av bruk, innhold og teknisk utvikling. ENISA² er en av aktørene som har diskutert denne utviklingen. I en rapport gir de en grundig gjennomgang av internett som økosystem, og problematiserer svakheter som skalerbarhet, pålitelighet, feiltoleranse og sikkerhet. De problematiserer videre mangelen på bærekraftige forretningsmodeller. Prisen på aksess går stadig ned, samtidig som etterspørselen etter kapasitet er stigende. Midt i dette er CDN en teknologi, som endrer på strukturen i internett, som igjen påvirker økonomien. Trafikken går i økende grad utenom transitleverandører og plasserer seg i stedet på attraktive samtrafikkpunkter eller inne i tjenesteleverandørers nett. Siden CDN leverer en stadig større andel av trafikken i internett er de i økende grad mer viktig for internettets økosystem, argumenterer forfatterne [104].

ENISA er ikke de eneste som har diskutert endringer i internett. I en rapport fra OECD³ diskuterer forfatterne utfordringer knyttet til internettets økonomiske modell for trafikkutveksling [134]. De hevder at det konkurransedyktige klima i internett har ført til lavere priser. Videre har markedet fremmet effektivitet og innovasjon, samt stimulert til å opprettholde de nødvendige investeringene for å møte utviklingen i etterspørselen etter kapasitet [134, s. 3]. Flere hevder at arkitekturen i internett har lagt til rette for innovasjon i de ulike lagene. Tross denne utviklingen, har ikke strukturen i internett endret seg mye [134]. Det hevdes at årsaken til internettets suksess ligger i både komersiell og teknologisk innovasjon, samt at det har vært generellt lite regulering. Forfatterne nevner CDN, sammen med mindre transitttrafikk og lokale samtrafikkpunkter, som et stadig viktigere element for å svare på markedets utfordringer til kvalitet, leveringsdyktighet og pris [134, s. 10].

²The European Network and Information Security Agency (ENISA), se <http://www.enisa.europa.eu>

³Organisation for Economic Co-operation and Development

2.3 Trafikkutvikling i internett

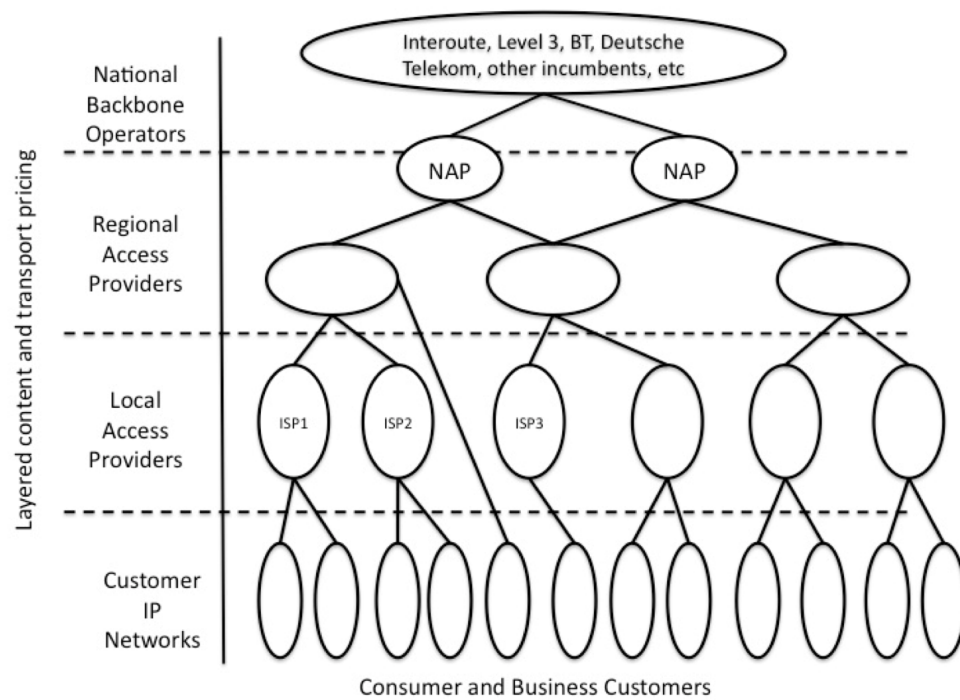
Begge de nevnte rapportene [104, 134] diskuterer hvordan trafikkutviklingen påvirker internett. Det er de ikke alene om. En artikkel har tatt for seg hvordan trafikken i internett har endret seg de senere årene [70]. Den finner at store deler av trafikken i dag flyter direkte mellom store innholdsleverandører, datasentre og CDN-leverandører og tjenesteleverandører. Trafikken går i mindre grad enn før igjennom flere nettverk og går ofte over kortere avstander som et følge av denne endringen [70]. Videre finner de en signifikant økning av videotrafikk, og en reduksjon av P2P⁴ [70]. Endringen i trafikk blir også betegnet som en utflating av internettets arkitektur gjennom økt bruk av samtrafikkpunkter [115]. Det argumenteres for at utflatingen kan redusere kostnader og øke ytelse, samtidig som veksten i samtrafikkpunkter gjør det vanskeligere å kartlegge overlevelsessevnen til nettverket [115]. Det stilles derfor spørsmålstegn ved hvordan internettets ytelse vil opprettholdes ved en eventuell feil ved et samtrafikkpunkt[115]. Endringen i internettets struktur på grunn av ny trafikkutveksling, er også tema i flere andre artikler [45, 114]. Et gjennomgående tema ser altså ut til å være endring i trafikkutveksling. Den foregår i stadig større grad mellom færre nettverk. Det har konsekvenser for både økonomi, men også sårbarhet, skalerbarhet og kvalitet [70, 104, 115, 134].

2.4 Verdikjede

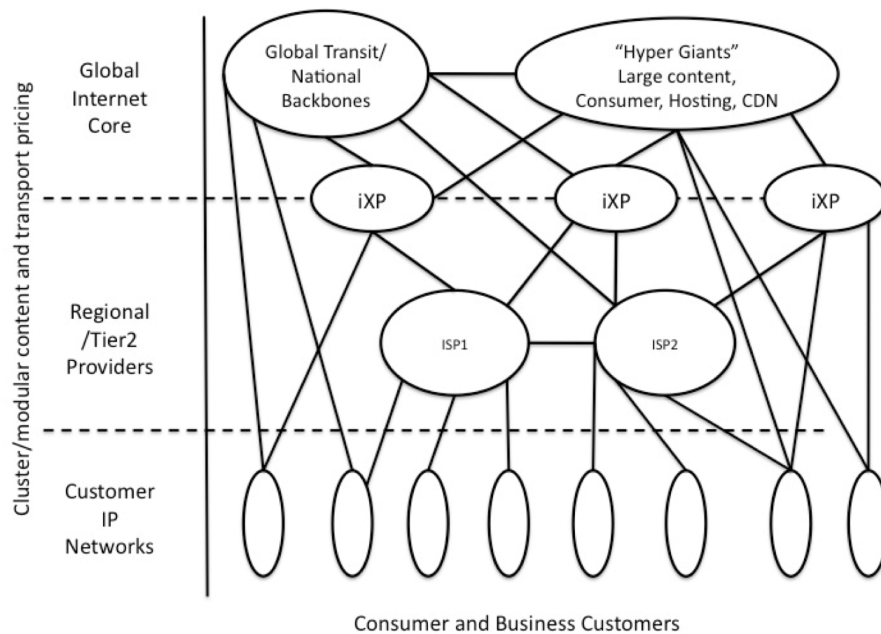
Internettets verdikjede er i stadig endring og i økende grad relevant for aktørene som deltar [101]. Endringen i hvordan trafikk utveksles (Se figur 2.3 og 2.3) og oppblomstringen av nye tjenester i internett påvirker verdikjeden i internett [48, 83]. Det holder ikke lenger å kun være tilbyder av internettaksess. Tjenestetilbydere må engasjere seg i nye forretningsmodeller knyttet til internettets verdikjede for å overleve [83]. Stadig tettere integrering av aksess og tjenester sørger for å lage egne økonomier [105]. Det gjør at internett går fra å være en universiell transportplattform til en plattform hvor private aktører lager såkalte «inngjerede hager»⁵ [105]. Fra et idealistisk hold problematiseres den vertikale integreringen av tjenester og aksess [59]. I en rapport anføres det at hvordan internettets verdikjede nå kjemper om innhold, aksess og brukerdata [121]. Det diskuteres videre hvordan internett kan se ut i fremtiden, riktignok fra et økonomisk perspektiv. CDN nevnes som en del av fremtidsbildet i [46, 102]. Den kraftige veksten i konsum av innhold,

⁴Av engelsk «peer-2-peer», betegner trafikk som går direkte mellom to parter

⁵Av engelsk «walled gardens», betegner en lukket økonomi innenfor en plattform eller et system som en aktør eier.



Figur 2.1: Klassisk utveksling av trafikk [83, s. 4]



Figur 2.2: Ny organisering av samtrafikk [83, s. 4]

spesielt video, er avhengig av slike tjenester[46, 102]. I en annen rapport ser forfatterne nærmere på hvem som betaler kostnadene i et internett med store innholdsleverandører[88].

Internettets verdikjede og økonomi er stadig viktigere, og endringene i hvordan trafikk utveksles har viktige implikasjoner på hvordan internett vil se ut i fremtiden. CDN står for en vesentlig andel av den strukturelle endringen, og trafikkøkningen i internett. Det er dermed av interesse å se nærmere på hvordan internett vil utvikle seg i lys av CDN. Det argumenteres for at internettets videre utvikling må styres av politikk og retningslinjer som må utformes av bransjeaktører, tekniske eksperter, myndigheter og det sivile samfunn [107]. Da er det også vesentlig at ulike fenomen blir undersøkt. Hvem som drifter infrastruktur knyttet til levering av innhold, hvem og hva som styrer trafikkutviklingen, hvem som legger standarder som påvirker utviklingen og hvem som leverer innhold, er alle interessante å utforske. Imidlertid er denne studiens hovedtema CDN, og det vil derfor være fokuset i det følgende.

2.5 Content Delivery Networks

CDN nevnes som en brikke i internettets videre utvikling i flere av artiklene og rapportene over. Både rapporten fra ENISA og OECD, problematiserer endringen i trafikkutveksling og hvordan dette påvirker fremtidens internett. Endringen i trafikkutveksling med de konsekvenser det har, kan blant annet tilskrives økt bruk av CDN. Det er derfor nærliggende å se på hva som finnes av litteratur som omhandler CDN.

Det er flere bøker [20, 50] og artikler [40, 69, 98, 106, 125] som redegjør for hva et CDN er og hva det gjør. Det er gjennomgående enighet i at CDN forsøker å flytte innholdet nærmere brukeren og dermed redusere rundetid, øke gjennomløp og forbedre kvalitet. Det er videre argumentert for at CDN på mange måter dekker avstanden mellom kravene til nye tjenester og det eksisterende internett [139].

«CDNs act as trusted overlay networks that offer high-performance delivery of common Web objects, static data, and rich multimedia content by distributing content load among servers that are close to the clients.» [125, s. 68]

CDN søker videre å lempe på kravene til infrastruktur for de som tilbyr innhold på internett. Ettersom hele verden kan fremstå som potensiell bruker, behøves en infrastruktur som kan skalere ved uforutsette hendelser [55, 144]. Det anføres at det ikke er lønnsomt for en innholdsleverandør å drifte

slik infrastruktur, da det er vanskelig å beregne hvor mange besøk som kan forekomme. CDN kan videre relateres til økonomiske utfordringer i internett. CDN befinner seg i skjæringspunktet mellom kostnader for innholdsleverandører og kvaliteten til brukere av innhold, hevdes det [103]. Prissettingen i et CDN er et komplekst spørsmål som består av en rekke faktorer [51].

2.6 Akamai

En aktør som har vært sentral i å binde sammen krav og løsning, er Akamai. De var det første CDN som ble lansert[40]. Ettersom de var en såkalt «spinoff» fra MIT, har de hatt en kultur for å dele mye av den forskningen som har vært gjort:

«we hope that sharing our experiences will be of value to a broad community»[5, s. 1]

Et resultat av den tidlige forskningen på effektiv levering i internett var det som skulle bli kjent som «konsistent nøkkeltrasformasjon»⁶ [58]. Dette arbeidet gikk ut fra MIT. Få år senere beskrev Akamai hvordan deres distribuerte plattform omgår flaskehalser ved å gjøre tilgjengelig innhold ved internettets ytterkant[40]. I en populærvitenskapelig artikkel noen år senere tar forfatteren opp utfordringene med internett i dag [74]. Det gis et overblikk over fire tilnærminger til CDN som muliggjør forbedring av levering, og hvorfor et distribuert system er eneste løsning på «the fat file problem»⁷ [74]. I en annen artikkel gir forfatterne en omfattende redegjørelse av komponenter i Akamai sitt nettverk [98]. Det gis også innsyn i arkitektur, designprinsipper, operasjon og styring av plattformen [98].

Det er imidlertid flere artikler som går mer spesifikt ned i materien på hvordan CDN generellt og Akamai spesielt, virker. For eksempel er Akamai sin bruk av DNS⁸ til å delegere noder til en sluttbruker godt beskrevet [42]. Forfatteren redegjør for hvordan Akamai kartlegger trafikk og status i nettverket. Denne informasjonen benyttes som basis for å henvise brukeren til nærmeste node i internett [42]. Videre har Akamai redegjort for hvordan de har bygget inn ulike designprinsipper for å sikre pålitelighet og stabilitet i et distribuert system [5]. Et verdensomspennende nettverk behøver en skalerbar modell for å både vedlikeholdes, driftes og oppgraderes [5]. Med Akamai

⁶Av engelsk «consistent hashing», betegner en metode for å distribuere innhold effektivt

⁷Levering av store filer som for eksempel programvareoppdateringer eller strømming krever stort gjennomløp, og er derfor avhengig av nærhet til brukerne i nettets ytterkant[74, s. 47]

⁸Domain Name System

sitt system har de klart å bygge et nettverk som krever lite administrasjon [5]. «Query», et system som aggregerer sanntidsinformasjon fra det distribuerte nettverkets status er også grundig beskrevet [33, 110]. Denne informasjonen benyttes til overvåkning og kontroll, og også til delegeringen av noder [42]. Til slutt har Akamai beskrevet hvordan de har bygget en effektiv metode for å spre video. De redegjør for metodikken som er benyttet for å møte kravene til kapasitet som strømmende innhold krever [66]. Akamai sitt distribuerte nettverk er med det overstående, grundig redegjort for i flere artikler. Det finnes også artikler som redegjør for andre CDN og andre metoder for bygging av CDN.

2.7 Ulike tilnærminger

«It is challenging to quantify the benefits of CDN designs because of the complexity of the network, clients and servers»[145, s. 150]

Det er gjort en rekke studier som kartlegger hvordan CDN kan bygges effektivt. Det er gjort forsøk på å finne det mest optimale designet på et CDN, med tanke på gjennomløp og kostnader [145]. Her settes distribuerte opp mot sentraliserte CDN. Forfatterne konkluderer med at distribuerte nettverk har større gjennomløp enn sentraliserte, mens sistnevnte har lavere kostnader og er derfor mest lønnsom [145]. Denne studien er interessant fordi den i et økonomisk perspektiv står i kontrast til Akamai som har en distribuert modell, og er en av verdens ledende leverandører av CDN. Videre er det foreslått en metode for alternativ delegering av noder [108]. Det argumenteres for at tjenestetilbydere kan distribuere informasjon om hvilken rute som er best til en node i et nettverk [108]. Metoden er imidlertid ikke gitt vesentlig oppmerksomhet. En annen artikkel tar for seg hvordan den kanadiske nyhetskanalen CBS har nyttiggjort seg av CDN [41]. De mener bruken av dynamisk CDN bør finjusteres gjennom enkle regler, kategorisering av innhold og forståelse av levetid på objekter for å utnytte et CDN optimalt[41].

2.8 Måling av effekt

Det er også gjort flere studier som undersøker hvordan CDN bedrer ytelsen. I en artikkel beskrives et av de første studiene som undersøker effekten av CDN [67]. Det er videre gjort undersøkelser på hvordan Akamai ruter trafikk og hvorvidt dette er hensiktsmessig[23, 118]. En omfattende måling av Akamai sitt CDN hvis formål er å kartlegge effekten av distribuerte kontra sentraliserte CDN er også gjennomført [123, 124]. De finner at Akamai

sine noder kan konsolideres i færre datasentre, uten at dette forringer kvaliteten til brukeren [123, 124]. Det er også gjort en rekke studier som måler CDN som brukes til strømmende innhold. Netflix sin arkitektur og bruk av CDN er videre undersøkt grundig [4]. Forfatterne foreslår på bakgrunn av funn, hvordan en målingsbasert og adaptiv seleksjon av CDN kan forbedre gjennomsnitts båndbredde med mer enn 12 prosent. Ved å gjøre seg nytte av alle tre CDN Netflix benyttet samtidig, kan gjennomsnitts båndbredde økes med mer enn 50 prosent [4, s. 1628]. Forfatterne står også bak omfattende kartlegging av både strømmetjenesten Hulu [2] og YouTube [3]. En studie oppretter et kasuelt forhold mellom kvalitet på en strøm og brukernes opplevelse [68]. Oppsummert finnes det flere studier som måler effekten av CDN, hvordan slike kan bygges effektivt, og som ser nærmere på bruken av slike i tilknytning til levering av strømmende innhold for å nevne noe. Det er med andre ord ikke relevant å gå inn i et studie på disse områdene.

2.9 Bidrag

Forbruket av båndbredde i internett er økende. Video konsumeres i stadig større omfang på nettet. Det innoveres nye teknologier som krever mer båndbredde. Applikasjoner og systemer blir tilgjengeliggjort på internett, fremfor i lokal infrastruktur. I lys av den økende bruken av båndbredde, dukker spørsmål om infrastruktur opp.

Utbyggingen av ny infrastruktur som skal levere mer båndbredde i internett er kostbart. Jeg mener CDN befinner seg i skjæringspunktet mellom utbygging av infrastruktur og levering av tjenester i internettet. Det er fordi CDN løser mye av problemet med det økende behovet for kraftig infrastruktur, samtidig som det *kan* gi merinntekter for netteiere og tjenestetilbydere.

I takt med den økende bruken av CDN, endrer også internett seg. Tjenesteleverandører utveksler trafikk direkte[115], stamnettleverandørene bærer mindre trafikk [70]. Flere CDN plasserer seg på strategiske steder for å levere innhold til flest mulig. De står for stadig større deler av trafikken som går mellom de innholdsleverandør og sluttbruker[104, 134]. I lys av dette, er det verd å undersøke effektene av CDN på internett og nettnøytralitet.

Så langt jeg har funnet er det få som har skrevet konkret om hvordan CDN påvirker internettet. Det er derimot flere som argumenterer for at trafikken i internett har endret seg. Dessuten er det flere som har undersøkt hva CDN gjør [40, 98], hvordan de gjør det [5, 42, 66] og om CDN virker i praksis [2, 3, 4].

Det er imidlertid ikke gjort konkrete undersøkelser på hvordan CDN påvirker internett. Videre har jeg ikke funnet en gjennomgang av hvordan de ulike effektene av et CDN påvirker internettets nettnøytralitet. En undersøkelse av denne studiens problemstilling kan gi svar på noen av spørsmålene som reiser seg i et internett hvor stadig mer båndbredde benyttes.

Teori

«The Internet was the great economic surprise of the 20th century»
Lawrence Lessig, [79]

Walsham understreker viktigheten av teori for å forstå datamateriale. I dette kapitlet vil jeg presentere teorier om arkitektur, ende-til-ende-prinsippet og nettnøytralitet. Først presenteres ulike tolkninger av arkitektur og hvilken betydning arkitektur har for et system. Videre presenteres ende-til-ende-prinsippet og hvordan prinsippet har påvirket utviklingen av internett gjennom å være et viktig designprinsipp. Til slutt kommer en redegjørelse for ulike tolkninger av begrepet nettnøytralitet.

3.1 Arkitektur

Ordboken Oxford Dictionaries definerer arkitektur som: «the conceptual structure and logical organization of a computer or computer-based system»¹. I følge ordboken legger altså arkitekturen konseptuelle føringer for hvordan et system er logisk organisert.

En av de som har understreket arkitekturens betydning innen informasjonsteknologi er Lawrence Lessig, professoren i jus ved Harvard Law School. Han er kjent for å være en liberalist, grunnlovsmann² og politisk aktivist³. Hans engasjement har også gjort han synlig i debatten om nettnøytralitet [77, 79, 80]. Lessig har publisert en rekke bøker, deriblant *Code version 2.0*, hvor han argumenterer for at arkitektur både kan begrense og legge til rette for adferd på samme nivå som lovgivning [78]. En arkitektur må derfor fargelegges av verdiene i samfunnet, slik at denne ikke får utilsiktede i samfunnet. Etter Lessigs syn, er det grunnloven⁴ som skal rettlede samfunnet

¹Se <http://oxforddictionaries.com/definition/english/architecture?q=architecture>

²Lessig benytter begrepet «Constitutionalist» om seg selv i boken *Code version 2.0*. Tanken med konstitusjonalisme er at myndighetenes makt skal begrenses individuelle friheter bevares, se <http://plato.stanford.edu/entries/constitutionalism/>

³Se <http://www.lessig.org/about/>

⁴Den amerikanske

og prinsipper fra denne grunnloven må inkorporeres i arkitektur generelt og internettets infrastruktur spesielt. Engasjementet til Lessig går særlig på internettets «konstitusjon»: «*The Internet has a constitution. Its architecture is this constitution — the way the net is coded, its design, the principles that govern its control.*» [80]. I forbindelse med internett, er derfor arkitektur og de verdier som ligger til grunn, særlig viktig. Lessig sidesetter arkitektur med kode⁵ og går så langt som å kalle kodeskrivere for lovgivere:

«As the world is now, code writers are increasingly lawmakers. [...] They are the ones who set its nature. Their decisions, now made in the interstices of how the Net is coded, define what the Net is.» [78, s. 79]

Lessig forfekter en virkelighet som er regulert av kode, derfor må vi også regulere koden – ettersom den påvirker våre omgivelser generellt og internett spesielt. Jeg vil komme tilbake til Lessig sine argumenter under seksjonen nettnøytralitet, senere i kapittelet.

3.1.1 Generativ teknologi

Jonathan Zittrain⁶, også han Professor ved Harvard Law School er en annen kjent meningsbærer innen internett. Zittrain sin inngangsport til arkitektur er gjennom begrepet *generativitet*, som han beskriver slik:

«a technology's overall capacity to produce unprompted change driven by large, varied, and uncoordinated audiences.» [148, s. 1980]

Videre beskriver Zittrain forskjellen på en generativ og en ikke-generativ teknologi. I følge han, gir en generativ teknologi eller et generativt system, muligheter utover det som var tiltenkt. Han nevner internett som et kroneksempel på en generativ teknologi. For eksempel nevnes e-post som en følge av den generative kapasiteten i internett. Ingen hadde forutsett den enorme veksten som har fulgt av internettets utvikling. I USA var telefonnettet strengt regulert og dette innebar at operatøren eide både nett og endeterminale [21]. En domsavsigelse i favør av et stemmeforvrengningsverktøy, åpnet imidlertid opp for at andre enheter kunne benyttes i telefonnettet [147]. Således ble telefonnettet en mer generativ teknologi. Internett slik vi kjenner det i dag, ble utviklet på det daværende amerikanske telefonnettet. Det ble laget nye apparater som kunne stå i endepunktene, blant annet det vi kjenner som modem. Ettersom kapasiteten i telefonnettet var begrenset, ble det forsket på hvordan en kunne benytte

⁵I betydningen av kildekode i en datakontekst, se http://en.wikipedia.org/wiki/Source_code

⁶Se <http://www.zittrain.org>

nettverket mer effektivt [63]. Resultatet var pakkesvitsjetechnologien [76] som la grunnlaget for det vi kjenner som internett. Forskerne i ARPANET[11] var opptatt av at nettverket som ble utviklet, ikke skulle behøve administrering. Videre var det viktig at nettverket ikke ble så spesialisert at de ulike nettverkene som fantes ikke kunne kobles sammen. Teknologien ble lagt i endepunktene, slik at kommunikasjonen ble generell, mens applikasjonene i endene kunne være spesiell. Den generative teknologien og arkitekturen er årsaken til den vekst og innovasjon i internett som har funnet sted [78, 147].

3.2 Ende-til-ende-prinsippet

«The network's job is to transmit datagrams as efficiently and flexibly as possible. Everything else should be done at the fringes.» [53, s. 3]

En av de mest anerkjente artiklene innen nettverksdesign er «End-to-end arguments in system design», skrevet av Jerome Saltzer, David Reed og David Clark [111]. I artikkelen argumenterer forfatterne for at funksjonaliteten i et system bør plasseres i enden for å oppnå størst pålitelighet [111]. Artikkelen er opphavet til det som kalles ende-til-ende-prinsippet. Den har av flere blitt betegnet som en beskrivelse av internettets arkitektur [77]. Det er videre argumentert for at ende-til-ende-prinsippet har vært et viktig designvalg for internett og dets utvikling [18]. Prinsippet har også vært et viktig bidrag i debatter om design og arkitektur i internett og informatikk forøvrig [18].

Tankegangen bak ende-til-ende-prinsippet har flere opphav. Det kan relateres til forskningen til Paul Baran ved Rand Corporation [63]. Baran forsket på hvordan en kunne bygge et pålitelig kommunikasjonssystem, som skulle virke på tross av et atomangrep. Ved et slikt anslag var det naturlig å tenke at en sentralisert infrastruktur ville bli satt ut av drift. Derav kom ideen om et distribuert nettverk. Robert Kahn [76] kom til DARPA [11] i 1972. Hans argumenterte for at et nettverk måtte inneholde en teknologisk standard som gjorde sammenkobling mellom mange nettverk mulig [76]. Videre var han opptatt av at de ulike nettverkene kunne kommunisere med sine programmer uavhengig av begrensninger i nettverket. Da TCP/IP teknologien ble utviklet få år senere, ble disse prinsippene integrert [22].

Ende-til-ende-prinsippet til Saltzer, Reed og Clark beskriver et nettverk som kan transportere alle typer data, og hvor funksjonaliteten finnes i endeterminale. Dette er i motsetning til for eksempel telekommunikasjon hvor funksjonaliteten ligger i nettverket. I et ende-til-ende-nettverk kan endeterminale kommunisere slik de ønsker, uten å bli begrenset av funksjoner i nettverket [18, s. 97]. Formålet med å plassere funksjoner i endeterminale er å oppnå både pålitelighet og ytelse i nettverket [111].

I artikkelen benytter Saltzer, Reed og Clark en filoverføring fra en terminal til en annen, for å argumentere for ende-til-ende-prinsippet. En slik overføring kan innebære feil på maskinvaren til begge terminalene eller i kommunikasjonssystemet. Det kan medfølge at data går tapt eller blir endret på veien. For å hindre at dette skjer kan man introdusere funksjonalitet som sikrer at overføringen blir pålitelig, tross uregelmessigheter både i terminaler og i overføringsleddet. Funksjonaliteten vil for eksempel kunne lese av filen og lage en sjekksum, for deretter å begynne overføringen. Dessuten kan den kontinuerlig kontrollere at hver pakke er overført ved å sende og motta en sjekksum, før neste pakke med informasjon sendes avgårde. En tilsvarende kontroll er ikke like lett å implementere i kommunikasjonssystemet, som i endeterminalene [111]. Videre vil en implementering av funksjonalitet i kommunikasjonsnettverket påvirke ytelsen i nettverket. Saltzer, Reed og Clark argumenterer for at nettverket ikke behøver å være pålitelig, fordi det kan implementeres funksjonalitet i endeterminalene som ivaretar dette til en lavere kostnad. Kontrollsystemet må dessuten implementeres i endeterminalene uansett:

«the end-to-end check of the file transfer application must still be implemented no matter how reliable the communication system becomes.» [111, s. 281]

Fordelen med ende-til-ende-prinsippet er at nye funksjoner kan implementeres hurtig uten at infrastrukturen som knytter endeterminalene sammen behøver endring. I internett betyr det at nye applikasjoner kan utvikles uten begrensning, og at brukeren har kontroll over hva som skal kjøre på endeterminalen [18].

3.2.1 Kritikk av ende-til-ende-prinsippet

Artikkelen til Saltzer, Reed og Clark er blitt kritisert fra flere hold. Tim Moors har anført at ende-til-ende-prinsippet ikke tar høyde for funksjoner som ruting av trafikk og køhåndtering. De kan i følge Moors ikke implementeres i endeterminalene for å oppnå et pålitelig system.

Artikkelen til «End-to-end arguments in system design» er benyttet av mange til å beskrive hvordan internett er laget og blir omtalt som en deskriptiv artikkel. Imidlertid hevdes det at den ikke har tyngde nok til å være deskriptiv, men heller anses som en preskriptiv artikkel: «Lacking descriptive weight, the claim must be entirely prescriptive.» [21, s. 667]. Videre siterer han Lemley og Lessig, når han anfører at ende-til-ende-prinsippet aldri har vært en formalisert regel, men heller en ide som har utviklet seg etter flere år med nettverksdesign [21].

Bennett har videre kritisert hvordan enkelte argumenterer for at internett må fortsette å være et ende-til-ende-nettverk. Etter hans oppfatning er ende-til-ende-prinsippet en dynamikk som oppfordrer til innovasjon: «The Internet was designed for continual improvement: There is no reason not to continue down that path.» [13, s. 40]

3.2.2 Utviklingen av ende-til-ende-prinsippet

Internett har endret seg fra hvordan det fremstod da artikkelen til Saltzer, Reed og Clark ble skrevet. I artikkelen «Rethinking the design of the Internet: the end-to-end arguments vs. the brave new world» tar Blumenthal og Clark et oppgjør med denne endringen i lys av ende-til-ende-prinsippet. Blumenthal og Clark skriver at en lite tillitsfull verden, nye og krevende applikasjoner, tjenesteleverandørers ønske om differensiering av trafikk, involvering av tredjeparter som for eksempel e-posttilbydere, samt mindre sofistikerte brukere, gjør at vi lager nye tjenester som utfordrer ende-til-ende-prinsippet [18].

- Verden fremstår ikke slik den har vært med tanke på pålitelighet. Tidligere kunne alle enes om felles mål i internett. I dag finnes det aktører som ønsker å gjøre skade, slik som søppel-epost og angrep på nettsider.
- Oppblomstringen av krevende applikasjoner gjør at «best-effort» ikke holder lenger. Det stilles krav til gjennomløp og kortere avstand til innholdet. Leveringen blir dermed foretatt av mellomledd i internett, og ikke vanlig ende-til-ende kommunikasjon.
- Tjenesteleverandører har insentiv til å lage differensierte produkter, for å møte de økte kravene fra nye applikasjoner. Det kan skape ulikheter i nettet, og i verste fall såkalte «lukkede-øyer» i nettverket. Bekymringen er at slike øyer⁷ skal redusere insentivet for å investere i åpne løsninger for allmennheten.
- Introduksjonen av mellomledd i nettverket gjør at direkte kommunikasjon fra ende-til-ende blir vanskelig. Ende-til-ende-prinsippet gir ikke noe entydig svar på hvordan man skal svare på en slik utvikling. En revurdering av prinsippet er derfor nødvendig for å sikre prinsippets gyldighet i fremtiden.

⁷Kan også beskrives som lukkede hager eller «walled gardens», i betydningen egne plattformer og økologier som har egne tjenester.

- I internettets tidlige tidsalder var brukerne ofte sofistikerte teknologer. Slik er det ikke i dag. Brukerne ønsker i større grad et system konfigurert av en tredjepart.

Oversatt fra Blumenthal og Clark [18, s. 72-74].

De argumenterer like fullt for at ende-til-ende-prinsippets påvirkning på internettets åpne struktur er viktig for fortsatt innovasjon og fleksibilitet i tiden fremover [18, s. 99].

Paul A. David har også diskutert endringen i internett i lys av ende-til-ende-prinsippet. Han anerkjenner at nye behov krever nye løsninger, men oppfordrer til edruehet i prosessen frem til en eventuell endring av internettets arkitektur på bekostning av ende-til-ende-prinsippet:

«The expected gains from making “improvements” in the core of the network should be weighed against the loss of the social and economic benefits that derive from the “end-to-end” architectural design.»[37]

3.2.3 Ny forståelse av ende-til-ende-prinsippet

I «The End-to-End Argument and Application Design: The Role of Trust» diskuterer Clark og Blumenthal, hvordan ende-til-ende-prinsippet kan sees på fra to ulike perspektiv: fra et *applikasjonsperspektiv*, og fra et *ruterperspektiv*. Det kan hjelpe til å forstå hvorvidt nye løsninger i internett er i tråd med ende-til-ende-prinsippet eller ikke. Ta for eksempel e-post. Et system som på et ruternivå er trafikk mellom ende til ende, ettersom det er vanlige terminaler som benyttes. Samtidig er det hevet over tvil at det på et applikasjonsnivå, ikke lenger er ende-til-ende. En e-post tar veien fra en terminal, til en SMTP-tjener, videre til en POP-tjener, før den ankommer terminalen i andre enden. Clark og Blumenthal antar at applikasjoner og tjenester hvor funksjonalitet ligger i mellomledd, vil øke i tiden fremover. På bakgrunn av dette ønsker Clark og Blumenthal å skille mellom ende-til-ende-prinsippet *i* nettverket og *på* nettverket. På den måten kan «kraften» i prinsippet bevares.

3.2.4 Ny struktur i internett

I artikkelen «Overlay Networks and the Future of the Internet» beskriver Clark et al. såkalte «overlag» i internett. Eksempler på slike overlag er for eksempel fildelingsnettverk eller innholdsleveringsnettverk (CDN). Clark et al. hevder slike har viktige teknologiske og politiske konsekvenser for neste generasjons internettarkitektur. Derfor er det også viktig å sette seg inn i og forstå overlag [29]. Clark et al. beskriver overlag som:

«...a set of servers deployed across the internet that: a) Provide infrastructure to one or more applications, b) Take responsibility for the forwarding and handling of application data in ways that are different from or in competition with what is part of the basic internet, c) Can be operated in an organized and coherent way by third parties (which may include collections of end-users)» [29]

Clark et al. avslutter med å dra paralleller til hvordan internett oppstod som et overlag over telefonsystemet, som videre førte til et paradigmeskifte i strukturen til telekommunikasjonsindustrien med økonomiske, politiske og sosiale effekter [29, s. 19]. Av den grunn er det viktig å forstå overlag i internett, der CDN er et slikt eksempel.

3.2.5 Tillit

I fortsettelsen av utviklingen av ende-til-ende-prinsippet i møte med den nye verden, har Clark og Blumenthal publisert en ny artikkel. Forfatterne argumenterer for at «tillit-til-tillit» er det nye ende-til-ende-prinsippet. I dette nye prinsippet kan en funksjon plasseres der en stoler på at funksjonen vil bli utført pålitelig [28, s. 388]. Formålet med å artikulere dette på ny, er å anerkjenne at sluttbrukeren skal ha kontroll over hvor avgjørelsen om hvor funksjonaliteten skal ligge:

«It is the movement of trust to the edge that is consistent with the end-to-end argument, not the placement of all function at the end node.»
[30, s. 388]

Forfatterne ser en rekke begrunnelser for at funksjonalitet kan plasseres i mellomledd, heller enn endeterminale:

- Operatøren av en endeterminale ønsker ikke å drifte en pålitelig tjeneste, men vil heller outsource denne.
- En tjeneste som utføres i et mellomledd kan ha tilgang på mer informasjon, for eksempel status på flere sluttbrukere.
- Hvis en tjeneste utføres i et mellomledd kan sluttbrukeren unngå unødvendig trafikk som stoppes i mellomleddet, og dermed redusere kostnader.
- Sluttbrukerens maskin kan ha svakheter som tillater angrep fra for eksempel virus. Hvis en sjekk av innhold kjøres ved et mellomledd kan brukeren sikre seg, på tross av manglende kompetanse og utstyr.

- Stasjonering av innhold i et mellomledd, effektiviserer måten innhold leveres på og gjør overføringen mer pålitelig. Dessuten vil replikering av innhold øke påliteligheten betraktelig.

Oversatt fra Clark og Blumenthal [28, s. 389-390].

I artikkelen «The End-to-End Argument and Application Design: The Role of Trust» argumenterer forfatterne videre for at ende-til-ende bør erstattes med troverdighet-til-troverdighet, at funksjonene i infrastrukturen plasseres der en kan stole på at de blir utført på en pålitelig måte.

3.3 Nettnøytralitet

Nettnøytralitet som prinsipp kan kjennetegnes ved et nettverk som kan bære alle typer informasjon og som kan støtte alle applikasjoner [136]. Det ligger videre i begrepet at et nettverk er mer verdifullt når det er mindre spesialisert, noe som har sitt opphav i ende-til-ende-prinsippet [136]. Til slutt handler nettnøytralitet om at nettverket støtter alle former for innhold og alle applikasjoner [136].

Debatten om nettnøytralitet kan være utfordrende å følge fordi ulike parter legger forskjellige forståelser bak begrepet [24, 73]. I følge teletilsynet (PT) er målet med nettnøytralitet «å sikre at internett utgjør en åpen og ikke-diskriminerende plattform for alle typer kommunikasjon og innholdsdistribusjon» [120, s. 2]. BEREC som er motparten til PT i England har definert nettnøytralitet på følgende sett:

«A literal interpretation of Network Neutrality, for working purposes, is the principle that all electronic communication passing through a network is treated equally. That all communication is treated equally means that it is treated independent of (i) content, (ii) application, (iii) service, (iv) device, (v) sender address, and (vi) receiver address» [14, s. 4]

David D. Clark, en av forfatterne bak artikkelen om ende-til-ende-prinsippet har oppsummert debatten på følgende sett:

To advocates for the Internet, it has to do with preservation of the Internet's open nature. On the other hand, to large service providers, it has to do with the viability of revenue streams, and in particular the future of television.» [26, s. 701]

Det er altså to grupperinger i debatten. De som er forkjempere for et åpent og regulert internett, og de store tjenesteleverandørene som er i mot regulering og for trafikkstyring [26]. Interessesmotsetningene er store, og det

påvirker debatten. I det følgende vil jeg gå igjennom ulike aktørers meninger om nettnøytralitet for å få et bredere perspektiv på de argumentene som ligger bak de ulike leirene. Resten av kapittelet er altså synspunkter til ulike teoretikere og forfattere⁸.

3.3.1 Tim Wu

«The idea is that a maximally useful public information network aspires to treat all content, sites, and platforms equally. This allows the network to carry every form of information and support every kind of application.» [136]

En som har markert seg som en forkjemper for en lovregulering av nettnøytralitet, er jusprofessoren Tim Wu [136] ved Columbia Law School i USA. Wu satte standarden for debatten med sin toneangivende artikkel «Network Neutrality, Broadband Discrimination» i 2003. Utgangspunktet for artikkelen til Wu var en økt frykt for vertikal integrering mellom innholdsdistributører og tjenesteleverandører, og diskriminering av innhold fra tjenesteleverandørenes side [77].

Wu har uttrykt bekymring for hvordan tjenesteleverandører kan endre internett. Tjenestetilbydere kan komme til å blokkere enkelte nettsider. Det kan medføre en konkurransevridning mellom den nettsiden som er blokkert og tjenestetilbyderen. Dette scenarioet kan være relevant hvis en tjenesteleverandør starter utleie av video på nett, og samtidig blokkerer eller degraderer tilgangen til andre tilbydere av video på nett. Wu er også bekymret for at tjenesteleverandører skal få såkalt termineringsmonopol over en sluttbruker. Det kan i såfall medføre høyere priser til de som ønsker å nå brukeren med innhold. Et samarbeid mellom tjenesteleverandører og tjenestetilbydere vil være konkurransevridende. Til slutt er Wu opptatt av at mangel på gjennomsiktighet gir lite insentiv for brukeren til å bytte tjenesteleverandør.

Wu er tilhenger av et nøytralt nettverk, fordi det vil være mest lønnsomt både for nasjonen og verden forøvrig. Wu begrunner det med hvor enkelt det er å innovere på en nøytral plattform, fremfor en plattform som har begrensninger. Etter Wu sin oppfatning åpner internett for nøytralitet i dets originale design, som er tuftet på ende-til-ende-prinsippet. Han mener også at dette er årsaken til internettets suksess, økonomiske vekst og kilde til samfunnskultur [136, 137]. For å hindre at tjenesteleverandører har negativ adferd som skader økonomien, vil Wu lovregulere nettnøytralitet.

⁸Av hensyn til forståelsen av debatten har jeg valgt å ikke konseptualisere det følgende, men heller forsøkt å forstå de ulike forfatternes synspunkter, og fremheve disse.

«To my mind, the basic justification for any law on network neutrality is an economic justification – preventing behavior that may be narrowly beneficial for the carrier but that has negative spillovers for the economy and the nation.» [136]

3.3.2 Lawrence Lessig

En annen meningsbærer i debatten om nettnøytralitet er professor i jus, Lawrence Lessig, ved Stanford Law School. Han var i likhet med Wu, tidlig ute med å poengtere viktigheten av et nøytralt nettverk. Blant annet gjennom artikkelen *It's the Architecture, Mr. Chairman*. Der tar Lessig til orde for at internett blir styrt av ende-til-ende-prinsippet og at dette er å anse som internettets grunnlov. Ved å endre på ende-til-ende-prinsippet, endres også grunnloven i internett. Lessig argumenterer for at nettopp dette prinsippet har vært årsak til internettets enorme muligheter for innovasjon[80].

«This principle of the initial Internet should guide the government in evaluating changes to the Internet's architecture, or acquisitions that threaten to change this effective architecture.» [77, s. 62]

I forbindelse med Federal Communication Commission [122] sitt arbeid på området, gjennomførte disse en høring om nettnøytralitet. Der uttrykte Lessig følgende:

«There is nothing wrong with network owners saying «we'll guarantee fast video service on your broadband account.» There is something wrong with network owners saying «we'll guarantee fast video service from NBC on your broadband account.» And there is something especially wrong with network owners telling content or service providers that they can not access a meaningful broadband network unless they pay an access-tax.» [79, s. 187]

Lessig mener at ende-til-ende-prinsippet har betydning for innovasjon i internett:

«If the principle of «end-to-end» is abandoned, however, then innovators must now include in their calculation of risk the threat that the network owner might either block or tax a particular application. That increased risk will reduce application investment.» [79, s. 190]

Lessigs argument er at ende-til-ende-prinsippet står for innovasjon og vekst i internett. Han mener et fritt marked er kodet inn i arkitekturen til internett [79, s. 195]. Hans frykt er at hvis aktører får for stor kontroll, vil dette hindre innovasjon: «If insiders are given both technical and legal control over innovation on the Internet, innovation will be stifled.» [79, s. 195].

3.3.3 Tim Berners-Lee

En annen teoretiker som har uttalt seg om nettnøytralitet er Tim Berners-Lee, også kjent som oppfinneren av World Wide Web. Han jobber i dag som leder for World Wide Web Consortium (W₃C), en organisasjon som jobber med utvikling av protokoller og retningslinjer som skal sikre langsiktig vekst for World Wide Web [130]. Definisjonen Berners-Lee benytter på nettnøytralitet handler om hvilket hastighet kommunikasjonen foregår på:

«If I pay to connect to the Net with a certain quality of service, and you pay to connect with that or greater quality of service, then we can communicate at that level.» [17].

Berners-Lee har markert seg som en forkjemper for universelle standarder og åpenhet på verdensveven. Med det mener han også at det underliggende internettet behøver åpenhet. Han eksemplifiserer dette gjennom hans erfaring med å utvikle verdensveven fra sitt eget skrivebord:

«It consisted of one Web site and one browser, which happened to be on the same computer. The simple setup demonstrated a profound concept: that any person could share information with anyone else, anywhere.» [16, s. 80]

Denne friheten til å utfolde seg på internett uten frykt for diskriminering er utgangspunktet for Berners-Lee sitt engasjement. Han mener at både myndigheter og konsern som blander seg i eller spionerer på trafikk på internett, bryter grunnleggende menneskerettigheter. Det at tilbydere av internett i økende grad ønsker å diskriminere trafikk, ser han ikke på som en positiv utvikling:

«A good ISP will often manage traffic so that when bandwidth is short, less crucial traffic is dropped, in a transparent way, so users are aware of it. An important line exists between that action and using the same power to discriminate.» [16, s. 84]

Samtidig mener Berners-Lee at det er viktig å skille mellom positiv og negativ styring av trafikken. Eksempler på positiv styring av trafikken vil være å hindre angrep fra uvedkommende og å stoppe søppelpost. Berners-Lee mener videre at et nøytralt kommunikasjonsmedium er avgjørende for konkurransedyktig markedsøkonomi, demokrati og vitenskap [16]. Internett har blomstret i en uregulert tilværelse, men likevel anfører han at regulering må til for å videreføre de viktige grunnprinsippene som internett har vært fundert på.

3.3.4 Christopher S. Yoo

En annen meningsbærer i debatten om nettnøytralitet er jussprofessor Christopher S. Yoo ved University of Pennsylvania Law School. Han har i en serie av artikler [141, 142, 143] benyttet økonomiske modeller for å argumentere *mot* en lovregulering av ende-til-ende-prinsippet, som for eksempel Lemley og Lessig hevder at gir et nøytralt nett.

I artikkelen «Network Neutrality and the Economics of Congestion» anfører Yoo sine argumenter for hvordan en alternativ prismodell kan løse trafikkutfordringene i internett. Ved å ta i bruk køprising som er kjent fra markedsøkonomien, vil trafikken avlastes og tjenesteleverandører få betalt av de som bruker mye trafikk. Yoo mener at restriksjoner på trafikk er eneste måten å få has på båndbreddeintensive aktiviteter. Hvis ikke vil høyvolumbrukere påføre ukompenserte kostnader på brukere som ikke benytter like mye båndbredde, noe som igjen svekker det samfunnsøkonomiske overskuddet [142, s. 1847]. Problemet med kø og ventetid i internett er videre møtt av innovative tjenester som CDN og andre kommersielle cache-løsninger. Disse bryter i følge Yoo nettverksnøytraliteten og vil da forsvinne ved en eventuell lovregulering av nettnøytralitet [142, s. 1854-1856].

Yoo mener til slutt at å tillate nettverkseiere differensiering av tjenester kan oppfattes som en form for prisdiskriminering. Det vil kunne fjerne kilden til markedsfeil, hvis regulatorisk inngripen hadde vært nødvendig i utgangspunktet [142, s. 1847]. De argumentene Yoo kommer med er begrunnelser for nettopp den type restriksjoner som nettnøytralitet vil fordømme:

«An examination of the economics of congestion provides policy justifications for precisely the type of restrictions that network neutrality would condemn.» [142, s. 1907]

Et regime med *nettverks diversitet*, såkalt «access-tiering» og løsninger fra CDN vil derimot kunne fjerne problemer med kø og ventetid. Yoo er ei heller ikke redd for at store selskaper vil overkjøre forbrukeren. Er konkurransen stor nok vil en frustrert kunde alltid kunne bytte operatør [142, s. 1908].

3.3.5 Timothy B. Lee

Timothy B. Lee er skribent og adjunct scholar ved Cato Institute. Det er en amerikansk tenketank, som er tilhenger av individuell frihet, begrenset myndighet, fritt marked og fred⁹. I «The Durable Internet Preserving Network Neutrality without Regulation» gir Lee en gjennomgang av debatten om

⁹<http://www.cato.org/about>

nettnøytralitet, hvor han kritiserer både de som er for og de som er i mot regulering. Han mener begge parter glemmer å se hva de er enige om i debatten og at de er selektive i sin argumentasjon. Nettnøytralitet handler i følge Lee om hvorvidt nettverkseiere kommer til å endre internettets ende-til-ende-prinsipp eller ikke. De som er for regulering frykter at bransjen skal endre internett. Flere av de som er i mot regulering, ønsker en endring av internett velkommen, andre motstandere av regulering mener ende-til-ende-prinsippet aldri har vært eksisterende i internett [73, s. 2]. I følge Lee er det en utbredt misforståelse at ende-til-ende-prinsippet er truet, slik som Lessig argumenterer for. At store eiere av aksessnett skal ha mulighet til å endre internett eller kundenes opplevelse av internett, mener Lee at er feil:

«ISPs are likely to respect network neutrality not because they want to but because economic and technological constraints leave them little choice.» [73, s. 3]

Det er både økonomiske og teknologiske begrensninger som vil sørge for at tjenestetilbydere ikke tar seg til rette ut over det som er akseptabelt, i følge Lee. Kunder vil jobbe seg rundt eventuelle diskriminerende praksiser som tjenesteleverandører velger å innføre. Dessuten vil selskaper som regulerer tilgangen til brukerne få motstand fra sine kunder og dermed bli tvunget tilbake til en teknologisk nettnøytralitet. Lee mener at begge sider av debatten er forkjempere for det åpne markedet som internett har lagt grunnlaget for, og at begge leire er mot et monopolistisk regime slik som telekomunikasjonsbransjen hadde i tidligere år. Lee mener derfor at det ville vært ironisk hvis et forsøk på å beskytte internett mot sentralisert kontroll fra store telekomunikasjonsoperatører slik som forkjemperne for nettnøytralitet gjør, legger grunnlaget for et regulatorisk regime som vil begrense konkurransen i bransjen.

3.3.6 David D. Clark

David D. Clark er en av forfatterne bak artikkelen som beskriver ende-til-ende-prinsippet, og flere andre artikler som har vært viktige i debatten om internettets arkitektur [18, 27, 28, 31, 32]. Han har også engasjert seg i debatten om nettnøytralitet, i artikkelen «Network Neutrality: Words of Power and 800-Pound Gorillas». Clark maner til edruehet i debatten:

«Any attempt to intervene in this battle must first take a realistic view of what the options are for the stakeholders and how the battle might play out, and must not adapt an over-simple or over-constraining view of what it means to be “open.”» [26, s. 701]

Clark hevder at internett ikke er gratis og fritt, selv om det er åpent. Det har alltid vært påvirket av ulike forretningsavtaler. Videre mener han debatten om diskriminering, også en debatt om ulike syn. Selv om diskriminering generelt er et ladet ord, er det ikke nødvendigvis det for en økonom, fordi det kan betegne fornuftige forretningsmodeller. Et eksempel på dette er modellen Yoo anfører i sin artikkel om kjøprising. På bakgrunn av dette omtaler Clark debatten om nettnøytralitet som en kollisjon mellom ulike modeller, som i seg selv er gyldige innenfor sin sammenheng. Han hevder likevel ikke at diskriminering i tjenestekvalitet er veien å gå for tjenesteleverandører som vil tjene penger. Samtidig mener han at internett slik det fremstår i dag, ikke er nøytralt og at diskriminering finner sted [26, s. 705]. I samtrafikken mellom ulike nettleverandører finnes det diskriminering. Ulike løsninger av innholdslevering (CDN) diskriminerer også trafikken, i følge Clark.

Clark hevder debatten om nettnøytralitet handler om hvordan trafikken utveksles mellom de ulike tjenestetilbyderne og innholdsleverandørene. I følge Clark ønsker tjenestetilbydere å ta betalt for å levere innhold i sitt nettverk, mens innholdstilbydere ønsker at samtrafikk skal foregå uten kostnad [26, s. 707].

Clark mener det er flere problemer med å lovregulere nettnøytralitet og jobbe mot diskriminering. For eksempel kan tjenestetilbydere begrense trafikken fra andre innholdsleverandører gjennom å selge mindre kapasitet til aktører de utveksler trafikk med. Videre kan prisdiskriminering benyttes for å møte større deler av markedet, og for å legge til tilleggstjenester som ekstra datakapasitet. Clark argumenterer for at prismodellen i internett er feil. Enten må prisene opp eller innholdsleverandører betale mer. Diskriminering kan også finnes i innhold, ikke bare QoS¹⁰.

¹⁰Quality of Service

Meningsbærer	Argumenter
Tim Wu	Nettnøytralitet gir positive sosiale og økonomiske effekter, samtidig som store tjenesteleverandører truer den friheten ende-til-ende-prinsippet gir. Derfor er en lovregulering av nettnøytralitet nødvendig.
Lawrence Lessig	Ende-til-ende-prinsippet regulerer åpenheten og friheten i internett. Dette legger til rette for innovasjon.
Tim Berners-Lee	Alle bør ha frihet til å utvikle applikasjoner i endeterminalene, slik Lee utviklet World Wide Web. En regulering vil sørge for en lovfestet rett til at alle kan delta på like vilkår.
Christopher S. Yoo	Markedsøkonomiske modeller bør benyttes for å kontrollere trafikken i internett. En regulering vil stoppe slike tiltak og jobbe imot et samfunnsøkonomisk overskudd.
Timothy B. Lee	Lovregulering kan ha uforutsette konsekvenser og er ikke veien å gå. Markedskreftene vil sørge for at ingen tjenesteleverandør innfører ugunstige praksiser som diskriminering av trafikk.
David D. Clark	Clark hevder at internett ikke er gratis, selv om det er åpent og at diskriminering finner sted. Han mener diskriminering ikke er veien å gå, men at innholdsleverandører må betale mer.

Tabell 3.1: Oppsummering av ulike argumenter i debatten om nettnøytralitet

Metodologi

«These contracts are difficult to infer even by operators of a single ISP or CDN, letting alone academic researchers» [145, s. 146].

Her presenteres først de filosofiske antagelser som ligger til grunn for studien. Derneft gis det en forklaring på hvorfor kasusstudie og et fortolkende paradigme benyttes, før det redegjøres for hvordan litteratur og data er samlet inn. Til slutt presenteres etiske refleksjoner rundt studien.

4.1 Paradigme

Vitenskapen bygger på ulike perspektiv om hva som er kunnskap og hvordan denne framstår.

«Methodological assumptions indicate which research methods and techniques are considered appropriate for the gathering of valid empirical evidence» [100, s. 8]

De filosofiske perspektivene som velges i et forskningsprosjekt vil påvirke datainnsamlingen, analysen, diskusjonen og resultatet av studien [133]. Innen forskning på informasjonssystemer¹, benyttes det ofte tre ulike paradigmer; positivistisk, fortolkende, og kritisk paradigme [90, 100]. I et positivistisk studie er virkeligheten objektivt gitt og kan beskrives med målbare egenskaper, uavhengig av forskeren og hans ståsted [90]. Målet med en slik tilnærming kan være å trekke slutninger om et fenomen fra et datagrunnlag, eller å teste ut en hypotese mot evidens. I motsetning til den objektive virkeligheten som positivistisk forskning bygger på, innebærer en kritisk studie en mer analytisk tilnærming til virkeligheten. I et kritisk paradigme er fokuset på motsetninger, konflikter og opposisjon i samfunnet, hvis mål er å være frigjørende [90]. Hensikten med en slik studie er å

¹Wikipedia definerer «information systems» som studiet av komplementære nettverk av maskinvare og programvare som mennesker og organisasjoner bruker til å samle, filtrere, prosessere, lage og distribuere data. Se: http://en.wikipedia.org/wiki/Information_systems

fjerne årsaker til fremmedgjøring og dominering i samfunnet [90]. En kritisk tilnærming kunne vært nyttig, ettersom det er både elementer av opposisjon, makt og konflikt involvert i studien.

Denne studien befatter seg med både teknologiske, økonomiske og politiske perspektiver. Målet er å forstå om og hvordan et CDN påvirker internett. Derfor har jeg valgt et fortolkende paradigme i denne studien. Et fortolkende studie starter med antagelsen om at kunnskap om virkeligheten er gitt gjennom sosiale konstruksjoner, som språk, bevissthet og delte meninger [131]. Orlikowski og Baroudi beskriver dette videre:

«Interpretive studies assume that people create and associate their own subjective and intersubjective meanings as they interact with the world around them. Interpretive researchers thus attempt to understand phenomena through accessing the meanings that participants assign to them.» [100, s. 5]

Målet i en fortolkende studie er i følge Orlikowski og Baroudi å forstå et fenomen gjennom dets tillagte meninger. Det innebærer at metodene som benyttes skal gi en forståelse av *konteksten* til informasjonssystemet og *prosessen* hvor informasjonssystemet både påvirker, og blir påvirket av konteksten [132, s. 4-5]. Forskning er i økende grad opptatt av hvordan mennesker oppfatter informasjonssystemer, og hvilke meninger som tillegges slike. Det er årsaken til at akademia i økende grad benytter fortolkende studier [131]. Både internett og CDN er begge komplekse fenomener og informasjonssystemer. De har mange aktører som for eksempel tjenestetilbydere, innholdsleverandører og brukere. Jeg har derfor valgt en fortolkende tilnærming som jeg mener vil være relevant for å undersøke studiens problemstilling.

Et kritisk tilnærming kunne også vært relevant i denne studien. I et kritisk paradigme er målet å finne og kritisere de sosiale systemer og avsløre motsetninger og konflikter som kan være i disse strukturene.

4.2 Kasusstudie

En kasusstudie kan defineres som et forsøk på å undersøke et fenomen i dets kontekst, spesielt hvis grensene mellom fenomenet og konteksten ikke er klart synlige [140]. Selv om CDN er en tjeneste som kan plasseres i internettet, er det uenighet om hvilke effekter CDN har på omkringliggende tjenester og funksjoner. Ved å studere CDN i dybden kan jeg få en større forståelse for hvordan et CDN virker og dermed kunne svare på forskningsspørsmålet. Walsham argumenterer for at en kan komme fram til ulike konklusjoner.

Derfor er det viktig å understreke at resultatet i denne studien kan være en del sannhet at og at funnene er tolket av undertegnede.

I følge Klein og Myers kan en kasusstudie både være positivistisk, fortolkende og kritisk [62], hvilket betyr at oppgavens paradigme og metodologi sammenfaller. Klein og Myers gir i artikkelen «A Set of Principles for Conducting and Evaluating Interpretive Field Studies in Information Systems», syv prinsipper for hvordan en fortolkende studie kan gjennomføres og evalueres. Selv om bidraget primært er myntet på feltstudier, er prinsippene likevel relevante ettersom denne studien søker å fortolke ulike aktørers meninger. Disse meningene er igjen mediert gjennom både artikler, uttalte meninger, intervjuer og tekniske observasjoner. I det følgende blir prinsippene til Klein og Myers gjennomgått, med refleksjoner under hvert punkt.

Det *første* prinsippet Klein og Myers forklarer er *det fundamentale prinsippet om den hermeneutiske sirkel*. Prinsippet innebærer at et fenomen både må forstås gjennom bruddstykker og dets helhet [62]. I denne studiens kontekst, vil det innebære å vurdere både CDN som et hele og dets komponenter og virkninger. Det *andre* prinsippet er *prinsippet om kontekstualisering*. Klein og Myers argumenterer der for at det må gjøres en kritisk refleksjon over den sosiale og historiske bakgrunnen for forskningsfeltet, slik at målgruppen kan se hvordan situasjonen har oppstått [62]. I denne studiens kontekst vil det bety å gi en ramme for hvordan Akamai har oppstått og forutsetningene som lå til grunn for å opprette et slikt system. Det *tredje* prinsippet handler om *interaksjon mellom forsker og subjekt*. Kritisk refleksjon er viktig også her for å være klar over hvordan data blir sosialt konstruert i interaksjon mellom forsker og subjekt [62]. I denne studien vil det bety kritisk refleksjon omkring hvordan informasjon som omhandler CDN blir mediert og forstått av forskeren. Det *fjerde* prinsippet handler om *abstraksjon og generalisering*. Det betyr at idiografiske detaljer som blir mediert av datamaterialet gjennom prinsipp en og to, må knyttes til teoretiske og generelle konsepter som beskriver menneskelig forståelse og sosial samhandling [62]. I denne studien kan det innebære å generalisere funn om CDN inn mot teori om for eksempel arkitektur. Det *femte* prinsippet beskriver *dialogisk tankegang*. Gjennom studien må en vurdere de forutinntatte meningene som styrer forskningen og funnene. Om nødvendig må en gjøre justeringer [62]. I denne studien beskriver det den kontinuerlige prosess som har foregått fra begynnelse til slutt, med endringer i både problemstilling og metode. Det *sjette* prinsippet handler om *ulike tolkninger*. Klein og Myers argumenterer for at en må ta hensyn til at en situasjon eller hendelse kan oppfattes og beskrives av ulike deltagere, på ulikt vis [62]. I denne studien handler det om å stille seg utenfor

artikkelen og vurdere hva som sies, om det er andre som beskriver det samme på et ulikt vis, og hva som fremstår som gyldig. Det *syvende* prinsippet handler om *mistanke*, og evnen til å se etter egne og andres tilbøyeligheter og systematiske fordreininger i de beskrivelser som gis [62]. I denne studien betyr det, i likhet med prinsipp seks, at en må se etter for eksempel en leverandør sin tilbøyelighet til å fremheve sitt eget system fremfor andres. Alt i alt gir Klein og Myers flere relevante prinsipper som denne studien har forsøkt å følge etter beste evne.

4.3 Metode for datainnsamling

I denne studien har jeg benyttet meg av ulike datakilder. I tillegg har jeg intervjuet flere personer. Jeg har hatt samtaler med mennesker som arbeider innenfor fagfeltet og diskutert ulike problemstillinger med de. Jeg har deltatt på foredrag, webinar og bransjekonferanser. Jeg har også lest ulik litteratur, som fagartikler, studier og forskningsartikler, nyhetsartikler og fått oversikt over ulike aktører gjennom både nettsider og whitepapers. I det følgende vil jeg utdype nærmere hvordan jeg gikk frem.

4.3.1 Vitenskapelige artikler

I arbeidet med å studere og beskrive CDN, har vitenskapelige artikler vært sentralt. For å få et balansert inntrykk av fagområdet har jeg gjort søk i ulike databaser og forsøkt å legge vekt på fagfellevurderte artikler. Det er likevel ikke til å komme utenom at flere av artiklene ikke er fagfellevurdert. Flere er konferansepapirer eller upubliserte manuskript. Når slike har dukket opp, har jeg forsøkt å undersøke hvorvidt papiret eller manuskriptet er skrevet eller sitert av en eller flere kjent(e) forfatter (innen fagområdet).

De to databasene jeg i hovedsak har benyttet er ACM Digital Library (Association for Computing Machinery) og IEEE Xplore Digital Library (Institute of Electrical and Electronical Engineers). Førstnevnte drives av en av de største vitenskapelige foreningene som er dedikert til informatikk, og ledes av Vint Cerf som er kjent for sin utvikling av TCP/IP sammen med Robert Kahn[22]. IEEE en bransjeorganisasjon som er dedikert til å fremme teknologisk innovasjon og profesjonalisme. Videre har jeg benyttet Springer Links, Elsevier, USENIX: The Advanced Computing Systems Association og Social Science Research Network.

Noen av søkeordene jeg har benyttet er (men er ikke begrenset til): CDN, Content Delivery Network, Content Network, Quality of Experience, Quality of Service, Akamai, Level 3, Limelight, Netflix, Internet architecture, End-to-

end, E2E, Network neutrality, Net neutrality, Discrimination og Two-tiered internet.

Ved å benytte referansene i artiklene, har jeg fått tilgang til flere relevante artikler og bøker. Enkelte er hentet gjennom biblioteket på Institutt for Informatikk. Andre kilder har vært tilgjengelige gjennom f.eks nettbutikken til Springer Links. Videre har jeg også lest flere bøker som både omhandler studiens tema og omkringliggende emner.

4.3.2 Intervju og samtale

I denne masteroppgaven viser jeg til flere intervjuer. Det har vært en viktig del av mitt datagrunnlag. Totalt har jeg vært i kontakt med 15 personer som i hovedsak har vært bransjeaktører. Fire av intervjuene ble foretatt i personlige møter hvor jeg benyttet en semi-strukturert intervjuguide. Samtidig har jeg lagt vekt på en åpen intervjuform hvor også intervjuobjektet har hatt mulighet til å komme med innspill på en enkel måte. Resterende intervjuer har foregått per e-post. Disse har vært mer strukturert, samtidig som jeg har lagt vekt på å stille åpne spørsmål som gir intervjuobjektet mulighet til å svare utfyllende. I tillegg har jeg avsluttet med et «noe mer du vil tilføye?» spørsmål. Enkelte av intervjuene på e-post har foregått på engelsk. Det er ikke sikkert at jeg her har oppfattet dybden i svarene, ettersom de er foretatt på engelsk, men jeg har gjort dette etter beste evne.

Mine bakenforliggende antagelser kan ha preget spørsmålsformuleringen, og påvirket forståelsen. På den måten kan jeg ha gått glipp av viktig informasjon. At jeg har hatt liten erfaring med å foreta intervju kan også ha forsterket dette. Manglende erfaring kan også ha medført at spørsmålene ikke har vært godt nok formulert, og at jeg dermed har mistet verdifull informasjon i intervjuene. Allikevel har jeg valgt å foreta flere intervjuer. Disse har vært en viktig del av min datainnsamling og forståelse av fagområdet. Jeg har foretatt semistrukturerte intervjuer, hvor noen spørsmål har vært forelagt på forhånd, mens enkelte har vært åpne. Dette mener jeg har gitt større rom for at respondentene har kunnet utdype deres fortolkningsverden. Samtidig har de strukturerte spørsmålene bidratt til validiteten i datainnsamlingen.

Intervjuene er sortert etter bransje, og vil benyttes videre i oppgaven med notasjon lik: [#3]. Flere av intervjuobjektene har samtykket til at jeg kan sitere deres navn. Imidlertid har jeg valgt å unngå dette, ettersom jeg da unngår eventuelle etiske dilemmaer.

I tillegg til intervjuene har jeg hatt flere uformelle samtaler med bransjeaktører på seminarer og i andre fora. Det har vært nyttig for å kunne diskutere ulike problemstillinger knyttet til fagområdet eller temaet spesielt.

Nr	Form	Stilling	Bransje	Dato
1	Møte	Ansatt	Innholdsleverandør	25.04.12
2	E-post	Ansatt	Innholdsleverandør	26.04.12
3	E-post	Ansatt	Innholdsleverandør	30.04.12
4	Møte, E-post	Ansatt	Innholdsleverandør	11.06.12, 21.03.13
5	E-post	Ansatt	Innholdsleverandør	09.01.13
6	Møte	Ansatte	Tjenestetilbyder	17.08.12
7	E-post	Ansatt	Tjenestetilbyder	27.08.12, 22.03.13
8	E-post	PR-ansvarlig	Tjenestetilbyder	22.01.13
9	E-post	PR-ansvarlig	Tjenestetilbyder	18. 03.13
10	E-post	PR-ansvarlig	CDN	15.03.13, 18.03.13
11	E-post	Ansatt	CDN	27.03.13, 28.03.13
12	E-post	PR-ansvarlig	CDN	23.04.13
14	E-post	Ansatt	Samtrafikkutveksling	11.04.13, 12.04.13
14	Møte	Ansatt	Universitetet	25.03.13

Tabell 4.1: Liste over intervjuer

4.3.3 Nyhetsartikler og fagtidsskrift

I Norge havner studiens område innenfor fagområdet til en rekke fagtidsskrift og nettaviser. Teknisk Ukeblad (tu.no), Digi.no, DagensIT.no og InsideTelecom.no har alle vært nyttige for å danne et bilde av ulike aktørers oppfatninger og agenda. De har i mindre grad vært nyttige for å gi innblikk i selve teknologien, ettersom dette ofte fremstår som forenklete forklaringer. Imidlertid har noen dyptgående artikler gitt mer informasjon om aktører.

I utlandet har nettstedene Techmeme.com, BostonGlobe.com, NyTimes.com, Forbes.com, Techrepublic.com og Techliberation.com, blant andre, gitt relevant informasjon som angår CDN. I flere av disse har nyhetssaker og omtaler referert til uttalelser fra relevante aktører. Disse har vært nyttige for studien. I noen grad har blogger og personlige hjemmesider vært nyttige for å gi mer informasjon om en sak eller et tema. Slike sider kan imidlertid være vanskelige å etterprøve, og blir i denne studien kun sekundærkilder.

4.3.4 Whitepaper og rapporter

Leverandører av CDN har gitt ut en rekke «whitepaper» eller faktaark om deres produkter, tilstanden til internett og lignende. Slike faktaark gir informasjon om bedriften og hvordan de mener deres CDN fungerer. Imidlertid er slike beheftet med en sterk subjektivitet, ettersom det er selskapene selv som har skrevet disse.

4.3.5 Sosiale medier

Sosiale medier har vært benyttet til å knytte kontakter med personer innenfor de fagfelt studien omfatter. Sosiale medier brukes i økende grad av næringslivet. De aktørene jeg har studert er å finne på Facebook og Twitter. Slike medier benyttes ofte som en informasjonskanal, like mye som kundekontakt. I tillegg har flere av de ansatte profiler på LinkedIn, næringslivets «facebook». Sistnevnte har vært veldig nyttig for å finne en inngangsport til mer informasjon i store bedrifter. I flere tilfeller har jeg fått kontakt med personer jeg ikke ville funnet like enkelt på andre måter. For eksempel har LinkedIn vært nyttig for å få informasjon om personer i aktuelle stillinger, og gitt meg informasjon for å komme i kontakt med disse.

4.4 Egne refleksjoner

4.4.1 Feilkilder

Jeg har brukt en del tid på å vurdere gyldigheten av informasjon jeg har funnet. Jeg er av den oppfatning at informasjon alltid kan ha en agenda. Den kan være farget av budbringeren eller bli påvirket av mottakeren. Informasjon kan også bli påvirket på veien. Det gjelder i særdeleshet på internett. I løpet av oppgaven har jeg søkt utallige ganger etter informasjon. Søkemotoren Google er absolutt ikke nøytral, og søkene manipuleres enkelt ved å kjøpe plass og bruke søkemotoroptimering. Samtidig kan det vanskelig gjøres å unngå bruk av Google. Det er få alternativer (om noen) som er like gode. Det har ført til at jeg i mange av søkene har gått langt ned på lista for å se hvorvidt jeg kan finne noe mer. Informasjon som leverandører legger ut på sine nettsider er i stor grad skrevet i positive ordelag. Det brukes for å bygge opp et godt rykte for bedriften og gjerne som salgsdokument. Artikler som legges ut av nettaviser og bransjemagasiner er i noen tilfeller skrevet i kritiske ordelag, andre ganger snakkes det varmt om en teknologi som en leverandør tilbyr. Dette har jeg sett flere eksempler på i løpet av min oppgave. Når det gjelder forskningsartikler har den største aktøren av CDN stått for

det meste av forskningen på området. Det gjør at de står i en særstilling innen forskningen på området og resultatene blir følgelig farget av det. I et intervju er det som nevnt, vanskelig å være helt nøytral. Mine antagelser på forhånd farger de spørsmål jeg stiller.

4.4.2 Begrunnelse for fremgangsmåte og metodevalg

I arbeidet med denne oppgaven har jeg forsøkt å opprettholde en balansert tilnærming til problemstilling, data og diskusjon. Samtidig er en slik tilnærming krevende å gjennomføre. Som jeg argumenterer for innledningsvis i dette kapittelet, er formålet med denne oppgaven å gjøre et fortolkende studie. Min posisjon er derfor vesentlig for resultatet. Jeg har førstøkt å få en større forståelse innenfor fagområdet. Det har gjort meg i stand til å belyse spørsmålene i problemstillingen fra ulike synspunkt. Debatten om nettnøytralitet blir imidlertid oppfattet som polarisert, spesielt i USA. Av den grunn er debatten mer krevende å følge, ettersom analogier og argumentasjonsrekker forenkler hva temaet egentlig handler om. Alex Candeub utdyper dette i en kritikk av i Barbara Van Schewick sin bok, *Internet Architecture and Innovation*. Der skriver Candeub:

«Without explicitly teasing out the limits of their theories, such scholarship incompletely engages the readership, potentially reducing scholarly debate to slogans or ideological predilection now resting on the mystique and irrefutability of another discipline.» [21, s. 674]

Det kan være krevende å både følge debatten om nettnøytralitet og finne ut hvilke teorier som ligger til grunn når aktørene argumenterer så forskjellig. Nettnøytralitet handler både om politikk, økonomi og teknologi, og interessen motsetningene er derfor store. Et eksempel finnes i artikkelen til Jon Crowcroft hvor han synliggjør sitt syn på økonomer: «Much of what I have read on the subject of net neutrality by economists is technically naïve and simplistic» [34, s. 567]. Videre anfører han at den daværende artikkelen på Wikipedia² er en av de bedre beskrivelsene av temaet. Dette står i kontrast til Tim Wu som mener at artikkelen på Wikipedia er for polarisert.

I oppgaven har jeg forsøkt å tilegne meg kunnskap om temaet for studien og forsøkt å forstå, analysere og diskutere oppgavens problemstilling. Min forforståelse av CDN kan ha påvirket resultatet og studien. Samtidig er mye av forskningen jeg har funnet publisert av ansatte og forskere med tilknytning til et markedsledende selskap innen CDN. Dette kan ha påvirket mine funn. Selv om flere av artiklene er fagfellevurdert, gir de likevel den ene aktørens

²Se https://en.wikipedia.org/wiki/Net_neutrality

synspunkter og argumenter. Det viser noe om hvor vanskelig det kan være å være nøytral og tolke dette objektivt.

4.4.3 Etikk

Oppgavens tema har vært internett og CDN. Dette er fenomener som beskrives offentlig og er tema innen næringsliv. Jeg mener at jeg derfor kan være trygg på at informasjonen jeg har samlet ikke har vært av sensitiv karakter. Forøvrig har jeg etter beste evne, fulgt komiteer sine råd for forskning på internett [65].

Kasus

«And this is where theory helped, because you know, normally you build a live system you scale by a factor of two, another factor of two, then you sort of redesign, you do another factor of two. And you know the theory had been built to go, to you know millions of hits a second and it actually worked» Tom Leighton, CEO Akamai

I dette kapittelet gir jeg en redegjørelse av hva et CDN er, hvorfor det eksisterer, hvordan det fungerer og hvilke aktører som finnes.

5.1 Historien bak

Tim Berners-Lee, opphavsmannen til verdensveven¹, forutså tidlig at internett ville få mer trafikk enn det ville klare å håndtere. For å løse dette kontaktet Berners-Lee kollegaer ved Laboratory for Computer Science (LCS) ved Massachusetts Institute of Technology (MIT) og utfordret de på å finne en innovativ løsning på problemet. Dr. Tom Leighton, en professor i anvendt matematikk, tok utfordringen. Leighton mente at problemet kunne løses med algoritmer og anvendt matematikk. Sammen med Danny Lewin, en av hans masterstudenter, begynte de å utvikle modeller for effektiv distribusjon av trafikk. De fikk også med seg personer som var eksperter på nettverk og informatikk, for å løse det som ble ansett som et voksende problem for sluttbrukeren i internett. Løsningen de kom frem til var en kombinasjon av intelligent ruting av trafikk og levering av innhold over et distribuert virtuelt nettverk. Det markerte starten på det vi i dag kjenner som Akamai.

Problemet som Berners-Lee forutså handler om infrastrukturen til en nettside. Det ble derfor kalt «the origin problem» eller «kildeproblemet». I hovedsak går det ut på at en populær nettside blir en flaskehals i en global verden. En skalering av infrastruktur for å møte et fremtidig behov i trafikk kan være nødvendig, men vanskelig å estimere [55]. Med hele verden som

¹Også kjent som World Wide Web

potensielle brukere, er det vanskelig å vite hvor stor etterspørselen blir. En overskalering kan føre til store driftskostnader, mens en underskalering gjør at brukere ikke får innholdet de ønsker [40]. Kildeproblemet handlet med andre ord både om å bygge en skalerbar infrastruktur, men også om kostnader.

Økningen i trafikk på internett på midten av nittitallet førte til at kommunikasjonslinjene i internett ble stadig mer benyttet. Innholdet måtte passere mange ulike nettverk for å nå frem til målet. Det tok stadig lenger tid å laste ned større innhold. Dessuten var ikke nettverkene pålitelige nok. Både kø og samtrafikkproblemer kunne ramme overføringen av innhold. Dessuten hjalp ikke økningen i båndbredde nevneverdig, ettersom denne bare skalerte kildeproblemet og gav større trafikk gjennom nettverkene. Leighton og Lewin ved MIT fikk derfor en ide om et distribuert nettverk som var i stand til å levere innholdet til brukerne fra ulike geografiske lokasjoner. Avstanden til innholdet ble dermed redusert, det ble mindre fare for upålitelige nettverk og overføringen ville foregå mer effektivt. Fordelen med deres system var at de visste det kom til å bli bedre og bedre etterhvert som de rullet ut servere rundt i verden [75]. Når deres nettverk vokste, ville de få bedre statistikk og ruting av trafikk. Samtidig ville en stadig større plattform gi muligheter for distribusjon i enda flere nettverk.

Akamai har siden deres spede begynnelse vært opptatt av å tilby en distribuert infrastruktur. Det innebærer å ha mange servere på mange ulike lokasjoner. Ved å gjøre dette kan de levere innhold fra tjenestetilbyderes nettverk. Det gir brukeren kortere vei til innholdet, høyere gjennomløp og bedre kvalitet på overføringen. Dessuten får Akamai bedre datagrunnlag for å foreta analyser av nettverk og beregne den optimale ruten for trafikk mellom innholdsleverandør og deres system. Med 130.000 servere plassert verden over, er sannsynligheten stor for at Akamai får med seg viktige hendelser. Dette visste også utviklerne da de på slutten av nittitallet regnet på algoritmer og matematikk [75].

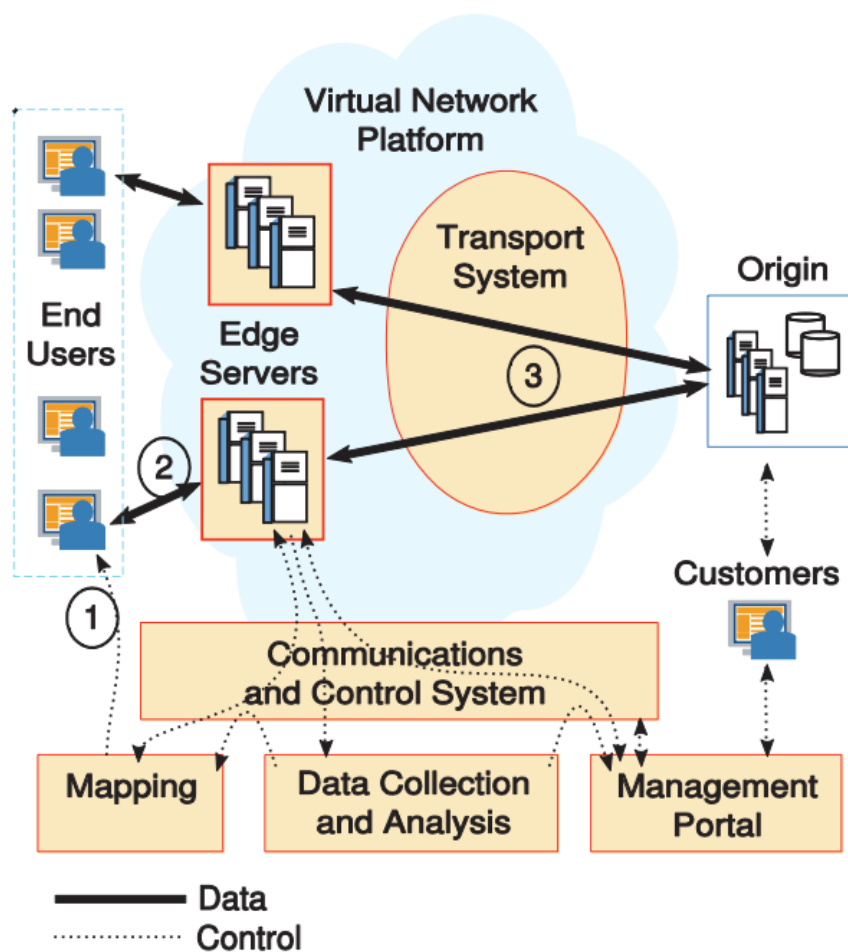
5.2 Hva er et CDN?

I seksjon 1.3 gis det en kort introduksjon til oppgavens tema. Der beskrives CDN som et *nettverk av noder som virker sammen for å levere innhold til brukere på en effektiv måte*. En annen definisjon på CDN gir en komplimenterende beskrivelse:

«...a collaborative collection of network elements spanning the Internet, where content is replicated over several mirrored Web servers

in order to perform transparent and effective delivery of content to the end users» [106, s. 3].

Definisjonen gir et bilde av et komplekst system satt sammen av en rekke tjenere i ulike nettverk med intelligent programvare. De typiske funksjonene i et CDN inkluderer et *rutesystem* som leder brukeren til den nærmeste tjeneren med innhold, et *distribusjonssystem* som kopierer innholdet fra innholdsleverandøren og ut til tjenere i internett, et *styringsystem* som håndterer innholdsleverandørens ønsker for distribusjon av innholdet og et *administrasjonssystem* som sørger for å styre plattformen, håndtere regnskap og overvåke bruken av systemet som helhet [106, s. 4]. En mer utfyllende beskrivelse gis av Akamai sitt system [40, 98]. Der beskrives komponentene i et CDN slik (Se figur 5.1):



Figur 5.1: Komponentene i Akamai sitt CDN [98, s. 6]

Den første komponenten i et CDN er oppkoblingssystem. Det sørger for å koble eller tilegne sluttbrukeren til rett tjener. Systemet velger en rute basert på historiske og nye data om kondisjonen til nettverket og tjenere som er tilgjengelige for bruk. Når sluttbrukeren taster inn en nettsadresse i sin nettleser, oversetter oppkoblingssystemet denne til den tjeneren som er tildelt.

Den andre komponenten er et verdensomspennende nettverk av noder. Disse har som oppgave å lagre og formidle innholdet til sluttbrukeren. På denne plattformen av noder kjøres også flere av systemene som beskrives i denne oversikten.

Den tredje komponenten er et transport- eller leveringssystem. Dets funksjon er å bringe oppdatert innhold fra kilden til nodene, for å svare på forespørsel fra sluttbrukeren. Systemet mellomlagrer statisk innhold i nodene, og distribuerer dynamisk innhold via den korteste topologiske veien, via nodene, til brukeren. Formålet til transportsystemet er å bringe innhold på en effektiv og stabil måte med høy ytelse.

Den fjerde komponenten er et kommunikasjons- og kontrollsistem. Det skal formidle viktig informasjon om status på tjenesten, kontrollmeldinger og oppdateringer av konfigurasjon.

Den femte komponenten er datainnsamling- og analysesystemet. Det besørger flere formål ved å samle inn logger fra klient og tjenere og informasjon fra nettverk og tjenere. Dette benyttes til overvåkning, alarmering, analyse, rapportering og fakturering.

Den sjette komponenten er styringssystemet. Det er et verktøy, som gjør det mulig å styre hvordan innhold og tjenester blir tilgjengeliggjort for sluttbrukeren. Det er i de fleste tilfeller innholdsleverandøren, kunden til et CDN, som benytter dette systemet. Konfigurasjonen i systemet oppdateres gjennom kontrollsistemet og ut til kanttjenerne. I tillegg, gir systemet kunden full oversikt over bruksmønsteret til de ulike sluttbrukerne, i tillegg til demografi og trafikkbruk.

Beskrivelsen av komponentene er omskrevet fra [98, s. 5,11-16].

Selv om komponentene i et CDN beskrives noe ulikt [98, 106] er kjernen i systemet å levere innhold på en plattform eller i et nettverk av tjenere som er plassert nærmere sluttbrukeren.

Avstand	Rundetid	Pakketap	Gjennomløp	Nedl.tid
<100 miles	1.6 ms	0.6 %	44 Mbps	12 min
500-1.000 miles	16 ms	0.7 %	4 Mbps	2.2 timer
3000 miles	48 ms	1.0 %	1 Mbps	8.2 timer
6000 miles	96 ms	1.4 %	0.4 Mbps	20 timer

Tabell 5.1: Effekt av distanse på gjennomløp og nedlastningshastighet, ved nedlastning av en 4 GB DVD. Tabellen er oversatt og forenklet [98]

5.3 Funksjoner i et CDN

Innledningsvis ble det redegjort for hva et CDN er, og hva det består av. I denne delen beskrives hva et CDN gjør. Oppgavene til et CDN, kan deles i mellomlagring, optimering av ruter, levering av applikasjoner og sikkerhetstjenester.

5.3.1 Mellomlagre innhold

Primæroppgaven til CDN er å mellomlagre objekter i et distribuert nettverk. Det kan foregå på to måter, enten ved at systemet henter inn informasjon fra et nettsted ved forespørsel, eller ved at den som eier innholdet laster opp dette til et CDN. Det er flere fordeler med å lagre innhold i et CDN. For det første unngår innholdsleverandøren å vedlikeholde en stor infrastruktur (som nevnt i 5.1). For det andre flyttes innholdet nærmere brukeren, noe som korter ned avstanden. Det gjør at problemer i overføringsleddet reduseres, og kvaliteten på overføringen økes (Se tabell 5.1).

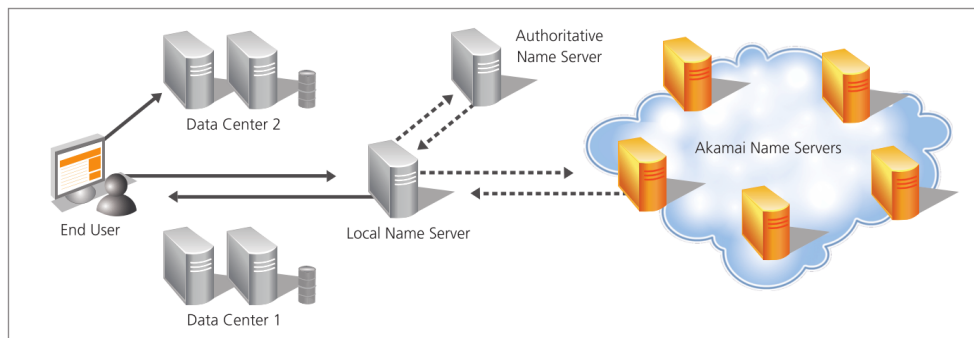
Mellomlagring av innhold er kjent som objektlevering. Metoden brukes i utstrakt grad til lagring av dokumenter, bilder, programvare og nettsider. Et av de første dokumentene som ble levert i Akamai sitt CDN, var et bilde på Disney sin nettside [75]. Siden dengang har objektlevering vokst omfang. I dag er det ikke uvanlig at hele nettsider mellomlagres i et CDN. Innhold som leveres på denne måten kan sees på som statisk, som innebærer at det er noenlunde konstant og endrer seg sjeldent. Dermed kan levetiden på objektene som mellomlagres, settes til for eksempel 100 dager. Innholdet blir da liggende på de ulike nodene i den angitte tidsperioden. Hvis en bruker forespør samme innhold, slipper nodene å forespørre innholdet på ny fra kilden.

Det er imidlertid stadig mere innhold på nettsider som er dynamisk. Det

gjelder for eksempel nyhetssider, nettbutikker og sosiale medier. Slike drar nytte av både objektlevering på det innholdet som er statisk, men også av optimering av ruter.

5.3.2 Optimering av ruter

En kombinasjon av objektlevering og optimering av ruter sikrer at en nettside kan leveres raskt, på tross av ulemper i nettverket. Måten det fungerer på er stort sett basert på DNS, og beskrives blant annet i Economou. Der beskrives Akamai sitt system for å delegere noder i nettverket til brukeren (Se figur 5.2). Delegeringen baserer seg på hvilke noder som har innholdet tilgjengelig, status på nodene i nettverket og hvor det er minst trafikk. Akamai har beskrevet hvordan denne delegeringen foregår [7]:



Figur 5.2: Optimering av ruter Akamai Technologies

1. En bruker forespør innhold på en nettside. Nettleseren sender en forespørsel til den lokale navnetjeneren², og spør etter IP-adressen som er assosiert med nettsiden.
2. Den lokale navnetjeneren følger standard prosess, og sender en forespørsel til nettsidens autoritative navnetjener, og spør etter IP-adressen som er assosiert med nettsiden.
3. Den autoritative navnetjeneren svarer med et CNAME, som er et alias for Akamai sine navnetjenere. Et CNAME³ benyttes for å gjøre Akamai sine tjenere ansvarlige for å svare på den lokale navnetjeneren.
4. Ved å benytte standard prosess for løsning av DNS, sender den lokale navnetjeneren en forespørsel til Akamai sine navnetjenere for å

²En tjener som inneholder informasjon fra DNS

³Et annet ord for alias

bestemme hvilket datasenter som en skal rute brukeren til, basert på kundens fastsatte retningslinjer.

5. Akamai sine navnetjenere svarer med en liste over IP-adresser med tjenere på en optimal plass.
6. Den lokale navnetjeneren sender en av IP-adressene til brukerens nettleser.
7. Brukeren blir koblet til den forespurte nettsiden.

Beskrivelsen er oversatt fra [7].

Kombinasjonen av mellomlagring av innhold og optimering av ruter fører til at dynamiske nettsider kan leveres på en effektiv måte. Det statiske innholdet kan mellomlagres, samtidig som det dynamiske innholdet kan hentes «på direkten». Ved hjelp av teknologi som «Edge Side Includes» (ESI), bindes det dynamiske og det statiske innholdet sammen i den noden som er delegert til brukeren. ESI er en del av applikasjonsleveringen som et CDN kan tilby.

5.3.3 Applikasjonslevering

Applikasjonslevering er en tjeneste som ulike CDN tilbyr i økende grad. For eksempel gjelder dette den nevnte ESI og sammensetning av nettsider i noder, før innholdet leveres til bruker. Samtidig er det flere andre applikasjoner som leveres, deriblant funksjonalitet for å ta i mot og behandle en video, både direkte og på forespørsel.

Strømming har tatt seg kraftig opp de senere årene, og flere CDN tilbyr nå funksjonalitet for å ta i mot og behandle video før det distribueres i nettverket. Det betyr at en innholdsleverandør kan levere en direktestrøm til et inngangspunkt eller tilgjengeliggjøre videofiler. Derifra overtar for eksempel Akamai jobben med å kode om innholdet til ulike formater, slik at innholdet kan leveres på ulike plattformer. Videre blir innholdet delt opp i ulike kvaliteter. Det skal sørge for overføringen til brukeren aldri begynner å laste underveis, men heller reduserer kvaliteten. I avspilleren til brukeren ligger det intelligens som måler nettverkskapasiteten og prosessorkraften til brukeren. Avhengig av disse faktorene, reguleres kvaliteten på overføringen. Dette synkroniseres i bruddstykker hvert 2-6 sekund. Denne prosessen med innpakning og segmentering er en av applikasjonene som leveres i et CDN. Kombinasjonen av mellomlagring, og innpakning og segmentering, gjør at brukeren får en bedre opplevelse av nettstedet som besøkes [68].

Ved direkteoverføring, nyttiggjør Akamai seg i tillegg av et sett med reflektorer. Fra inngangspunktet til strømmen, mangfoldiggjøres signalet til mange reflektorer. Reflektorene er noder i nettverket, som tjener som mellomledd mellom kilden og nodene i nettets ytterkant, som igjen skal levere innhold til brukeren. På den måten vil nodene ute i nettverket, til en hver tid ha flere mellomledd å få informasjonen fra. Nodene er ikke avhengig av å ha kontakt med kilden. Ved et kabelbrudd eller andre feil i nettverket, bytter nodene i nettverket mellomledd sømløst, uten at dette går utover overføringen fra noden til brukeren.

Et CDN kan med andre ord gjøre mer enn å distribuere innhold på en effektiv måte ved hjelp av mellomlagring og optimering av ruter. CDN kan også levere applikasjoner, helt ute i nettets ytterkant. Det muliggjør en enda mer effektiv måte å distribuere innhold på. I tillegg tilbyr CDN sikkerhetstjenester.

5.3.4 Sikkerhet

I følge flere [12, 82], er sikkerhet et stadig viktigere tema på internett. Rapporter om tjenestenektangrep, overtagelse av nettsider og andre angrep på innhold, setter sikkerhet på internettets agenda. Fordi behovet for sikkerhet er økende, har ulike CDN utviklet metoder for å begrense negativ adferd. Akamai nyttiggjør seg av sin distribuerte plattform til å tilby en rekke ulike sikkerhetstjenester. Ved å gjenkjenne ulike trafikkmønstre ute i nettets ytterkant, kan uønsket adferd stoppes før den gjør skade.

Akamai tilbyr flere tjenester som bidrar til å sikre infrastrukturen til deres kunder. Eliminering av tjenestenektangrep er en av disse tjenestene. Akamai bruke den distribuerte plattformen sin til å gjenkjenne begynnelsen på tjenestenektangrep. Deretter kan angrepet stoppes ved å rute trafikk mot en node til et svart hull [10]. Det hele overvåkes av Akamai i deres overvåkningssystem. Der kan ulik adferd begrenses, og enkelte typer trafikk blokkeres. På den måten unngås for eksempel SQL-injeksjoner eller overtagelse av domenenavn.

5.4 Hvilke aktører finnes

Det finnes en rekke CDN-leverandører. Dan Rayburn i Frost and Sullivan vedlikeholder en liste på alle CDN-leverandører som finnes på sin nettside [109]. I denne oversikten gir jeg en oversikt over noen av disse (Se tabell 5.4). Formålet er å vise omfanget og utstrekningen til disse leverandørene.

Akamai Technologies Inc.

Akamai Technologies Inc.⁴ er det første og den største [129] leverandøren av CDN på markedet. Med utgangspunkt fra MIT har de vært ledende i arbeidet med å finne effektive løsninger på hvordan innhold kan leveres i internett på best mulig måte. Akamai har ca 130.000 noder plassert i 81 land, i 1150 nettverk [6]. I følge Akamai selv, står de for mellom 15% til 30% av trafikken i internett [6].

Akamai har etablert det de kaller for en distribuert plattform hvor leveringen av innhold skjer gjennom noder i internettets ytterkant. De hevder selv at den distribuerte naturen til deres CDN gjør de i stand til å eliminere internettets problemer med skalerbarhet, stabilitet og kvalitet.

De senere årene har Akamai publisert rapporten *State of the Internet* hvor de redegjør for utviklingen i internett med hensyn til sikkerhet, båndbredde og tilknytning [12]. Statistikken til disse rapportene blir samlet inn fra deres distribuerte plattform.

Limelight Networks

Limelight Networks⁵ er en CDN-leverandør som ble stiftet i 2001. Det som skiller Limelight fra Akamai er at Limelight opererer et eget fibernettverk i tillegg til å være CDN. Limelight sin plattform består av 18.000 noder i 80 land [85]. Limelight anslår at deres største konkurransefortrinn er samtrafikkavtaler med 950 tjenestetilbydere verden over.

Limelight tilbyr tjenesteleverandører å leie seg inn i sin plattform. På den måten kan en tjenesteleverandør tjene penger på innholdslevering, samtidig som kostnadene ut nettverket reduseres [84].

Edgecast

Edgecast ble stiftet i 2006 med hjelp fra et ventureselskap eiet av Walt Disney Company, Steamboat Venture⁶. I 2009 hadde bedriften overskudd, og ble plassert som nummer tre innen CDN industrien av Yankee Group sitt CDN Scorecard [129].

Ved å knytte seg til såkalte «Super POPs», eller store samtrafikkpunkter, distribuerer nettverket innhold på en effektiv måte. I tillegg utvikler Edgecast trafikk med store stamnettleverandører, noe som setter de i stand til å nå enda flere brukere. Edgecast har i dag kunder som LinkedIN, Tumblr, Soundcloud og Pinterest [43].

⁴Se <http://www.akamai.com>

⁵Se <http://www.limelight.com>

⁶<http://www.edgecast.com>

Level 3

Level 3 startet opprinnelig som et kommunikasjonsselskap og har etter det bygget et verdensomspennende fibernett. Videre kjøpte Level 3 teknologi for å distribuere innhold fra SAVVIS i 2007. Level 3 har over 100.000 rutemil med kabel, og er plassert i over 30 land[81]. Level 3 har en unik posisjon fordi de eier stamnett verden over, og regnes som en få såkalte «tier 1»-operatører. Det betyr at deres tjenester i utgangspunktet har tilgang til stamnett som går verden over. Operatørene på tier 1 nivået, betaler ikke for å utveksle trafikk. Level 3 kan derfor tilby billigere CDN, ettersom kostnaden for å levere trafikk blir mindre. Level 3 har således et konkurransefortrinn over de andre operatørene.

Amazon CloudFront

Amazon har markert seg sterkt i internettets verdikjede gjennom deres nettbutikk med samme navn. Der selges ulike artikler, og i de senere årene både bøker, musikk og video som leveres digitalt. Amazon har også lansert sin egen nettplattform, som de kaller Amazon Web Services. Gjennom denne tilbyr de flere tjenester som innholdslagring, datakraft og CDN. Sistnevnte ble utviklet i 2008. Netflix er en av kundene til Amazon som har tatt i bruk både fillagring og datakraft. Filmene til Netflix blir lagret hos Amazon, før de skaleres og pakkes inn og deretter leveres gjennom Netflix eget CDN.

Qbrick

Qbrick er et svensk selskap, som hevder å være størst på CDN i norden. Ca 60% av all internett-trafikk i norden bruker Qbrick sitt nettverk. Selskapet er eiet av franske TDF som er en betydelig bakkenettoperatør i Europa. I Norge leverer Qbrick til blant andre NRK og Maxbo. I Sverige leveres både SVT, TV4 og Aftonbladet. Deres fokus er på å bygge totalpakker til kunder som ønsker video på nett og mobile plattformer.

Telenor Nordic CDN

På begynnelsen av 2000 tallet ønsket stadig flere innholdsleverandører å tilby innhold på nett. Telenor opprettet derfor et eget miljø for strømming, hvis formål er å sørge for å være med i utviklingen videre. Da Big Brother rullet over norske TV-skjermer for første gang, tilbød Telenor eide iCanal det hele på nett.

I motsetning til Akamai, har Telenor sjelden flagget sin tjeneste høyt i markedet. Men de har og har hatt omfattende kundelister. Etter Big Brother

Leverandør	Type	Omfang
Akamai	Distribuert	130.000 noder, representert i 1150 nettverk i 81 land.
Amazon	Sentralisert	40 lokasjoner i 16 land.
Edgecast	Sentralisert, leide/eide linjer	Representert på 24 data-sentre i 13 land.
Google	Distribuert	N/A
Level 3	Sentralisert, leide/eide linjer	Representert på 86 data-sentre i flere land.
Limelight	Sentralisert, leide/eide linjer	18.000 noder, koblet til 900 tjenestetilbydere i 80 land.
Qbrick	Sentralisert, leide/eide linjer	Privat samtrafikk med globale stamnettleverandører på 33 lokasjoner. Koblet til 10 offentlige samtrafikkpunkt i Europa.
Telenor Nordic CDN	Sentralisert, leide/eide linjer	Representert i 3 land.

Tabell 5.2: Oversikt over ulike CDN

ble Tippeligaen levert på nett. Dette var et samarbeid mellom Telenor og TV 2, hvorpå sendingene ble levert via TV 2 Sumo. Den dag i dag har fortsatt TV 2 avtale med Telenor om levering av innhold. I tillegg leverer Telenor Nordic CDN tjenester til NRK, P4 og P5 radio, TVNorge, Comoyo, Canal Digital Go, Dagbladet og flere andre.

Telenor er leverer både bredbånd og CDN. Dette har gjort at de flere ganger har kommet i konflikt med både innholdsleverandører og andre CDN. Eksempelvis har de uttalt at de ikke nødvendigvis liker CDNenes tilstedeværelse i deres nett. På den annen side har det vært et nødvendig onde, for å få bukt med høy transitt-trafikk [# 6].

Telenors virksomhet rundt CDN er vanskelig tilgjengelig. De uttaler seg under pseudonymet Digital Services, hvor CDN trolig ligger under. De gangene de er i media, er det som representanter for teleselskapet eller nye digitale tjenester som Comoyo.

5.5 Oppsummering

«More direct delivery, fewer intermediate hops, and local caching reduce latency and improve the quality of service»[134, s. 27].

CDN er en tjeneste som tilbys av flere ulike selskaper med den hensikt å levere innhold til brukere i internett på en effektiv måte. Ved å flytte innholdet nærmere brukeren, reduseres avstanden og dermed også antall nettverk som brukeren må passere. Det fører til bedre kvalitet på overføringen på grunn av redusert ventetid og større gjennomløp. Videre sørger et CDN også for å redusere en innholdsleverandørs behov for en stor infrastruktur. Et CDN bidrar dermed til å både øke kvaliteten men også redusere kostnaden for en innholdsleverandør.

Funn

For å kunne belyse oppgavens forskningsspørsmål har jeg gjennomgått ulike aktørers forhold til CDN. Dataene i dette kapittelet er basert på intervjuer med aktørene og ulike uttalelser som de har gitt i mediene.

I det følgende blir data fra eiere av infrastruktur og tjenestetilbydere først presentert. Deretter vil jeg beskrive hva ulike innholdsleverandører mener. Til sist vil jeg ta for meg andre aktører på området.

6.1 Eiere av infrastruktur

Med eiere av infrastruktur menes de som eier nettverk for datakommunikasjon som overføres over enten mobil- eller fastnett. De kan også beskrives som tjenestetilbydere slik de er gjort i resten av denne oppgaven. Her presenteres data fra aktørene Broadnet, Get, Altibox og Telenor.

6.1.1 Broadnet

Broadnet er en tjenestetilbyder som i følge deres egen nettside, satser på å bli Norges ledende leverandør av fiberbasert datakommunikasjon [19]. Selskapet har sitt opphav i tidligere BaneTele og Bredbåndsalliansen, før det ble slått sammen til Ventelo. I fjor ble Broadnet skillt ut som et eget selskap innen trådbasert datakommunikasjon, mens Ventelo fortsetter med mobilkommunikasjon. Broadnet har vært synlige i debatten om økt trafikkvekst og kostnader til infrastruktur, også betegnet som «innholdsdebatten». Under Ski-VM i Holmenkollen i 2011 ble det satt rekord i levering av trafikk i norske nett. I den forbindelse var Broadnet på banen og uttrykte hva de synes om dette:

«Det var tydelig at mange nordmenn så på VM-sendingene på nett i arbeidstiden. Mange bedrifter opplevde også at VM-trafikken gikk ut over andre tjenester på nett. Dette viser at den såkalte innholdsdebatten må tas på alvor» [99]

Broadnet er med andre ord bekymret for at overforbruk i nettet går ut over andre tjenester. De beskriver utfordringen ytterligere:

«Problemet oppstår når de som leverer pakkene – altså innholdsleverandørene – vil sende så mye og kapasitetskrevenne pakker at det blir kork på nettet. Dette så vi tydelig konsekvensen av under VM på ski i Holmenkollen» [99]

Utfordringen er i følge Broadnet at flere aktører belaster nettverket i så stor grad at andre aktører ikke kommer til. Ønsker innholdsleverandørene å garantere kvalitet til forbrukeren, må de være med å betale:

«Innholdsleverandører som vil ha garantert tjenestekvalitet må også være med å betale for den» [99]

Et av argumentene men bruk av CDN er at dette avlaster den totale trafikken ut av tjenestetilbyderens nettverk. Det synes ikke å være godt nok i følge Broadnet:

«Selv om bruken av CDN-er, eller mellomlagringsnettverk, løser leveringsproblemene for NRK, må vi hele tiden ha en dialog med aktører som Akamai for å sørge for at den økte trafikken ikke påvirker andre tjenester på nett. [...] Dette er en dialog som pågår og kommer til å pågå i større grad mellom oss og CDN-aktørene» [99]

Broadnet oppfatter med andre ord CDN som et verktøy til å levere trafikk, men ikke eliminere kø i deres eget aksessnett. Broadnet tok også opp problematikken på fagsamlingen Telecruise etter Ski-VM i 2011. Der gjentok Broadnet deres standpunkt om at forretningskritiske forbindelser ikke kan bli stoppet av kork som forårsakes av nett-tv:

«Nødnettet må alltid være oppe. Sånn er det med den saken[...]»
[61]

Oppsummering Broadnet ønsker å tilby prioritert trafikk til forretningskritiske forbindelser og de som ønsker å betale. De mener det er problematisk at båndbreddekrevenne tjenester skaper kø for prioriterte tjenester i nettet, eksempelvis nødnettet eller bedriftskritisk kommunikasjon.

6.1.2 Get

Get er en av flere digital-TV og bredbåndsløseleverandører i Norge. De leverer en pakkeløsning bestående av både TV, internett og telefon, ved hjelp av en og samme kabel. På deres hjemmeside hevder de at nær en million norske husstander har tjenester fra Get, og at de var først ute med bredbånd i 1997.

Get har egen side for borettslag, og satser aktivt på utbygging til slike. I motsetning til Broadnet satser Get på privatmarkedet. Get har tidligere vært på banen og problematisert den økende bruken av CDN. På et fagseminar problematiserte Get hvordan ulike CDN plasserer seg i tjenestetilbyderes nett. De mener tjenestetilbyderne kun sitter igjen med høyere kostnader som følge av økt bruk av kapasiteten:

«CDN-ene bidrar til at det eksploderer i «backbonet», [...] Mens de graver seg lenger og lenger inn i nettet med sine tjenester, er dere i gang med et uendelig race med oppgraderinger» [91]

Ved å la andre etablere seg i verdikjeden, mister linjeleverandørene inntekter. De tilfaller i stedet innholdsleverandørene:

«Etter hvert som http-streaming blir større, så blir det spennende business» [91]

Get ser at strømming og andre kapasitetskrevenne tjenester er kommet for å bli, og at det gjelder å henge med i utviklingen for å ikke dette av lasset. Get foreslår at tjenestetilbyderne kan tilby lignende tjenester:

«I stedet for at NRK betaler Akamai bør de betale de pengene til dere [tjenesteleverandørene]» [91]

Det kan imidlertid se ut til at Get har slått denne tanken fra seg. De uttaler nå at CDN er viktig for kapasitetskrevenne innhold:

«CDN er nødvendig for å kunne levere stadig høyere mengde innhold på en effektiv måte.» [#8]

Get mener også at CDN har bidratt til effektiv distribusjon i internett:

«Gjort det mer effektivt til distribusjon av store datamengder.» [#8]

Samtidig er de opptatt av at innholdsleverandører må betale for distribusjon av innhold, og at utbygging av fremtidens internett er avhengig av denne betalingen.

«Vi mener innholdsleverandørene i langt sterkere grad enn i dag må være med å finansiere utbyggingen som er nødvendig for å kunne levere stadig mer streaming av video med QOS.» [#8]

Oppsummering Get ser på CDN som viktig for å levere innhold på nett, men de må betale for bruken av båndbredde. De mener også at en finansiering er nødvendig for å møte kravet om økt båndbredde.

6.1.3 Altibox

Altibox er en paraply for ulike fiberaktører i Norge. I likhet med Get, leverer Altibox en komplett pakke med TV, internett og telefon. Altibox har god kapasitet til sine kunder, på grunn av et eget fibernett. Da Netflix kom på det norske markedet, rangerte de ulike tjenestetilbydere etter hvilken kvalitet de kunne levere til kundene. Da Telenor ikke ønsket å utveksle trafikk med Netflix, uttalte Altibox følgende:

«Å gå inn i fight med OTT-aktørene har en skadelidende part. Det er kunden» [94]

Altibox inntar en fremoverlent holdning til nye aktører og tjenester, når de sier at:

«Utgangspunktet vårt er at vi glad for at det finnes et rikt innhold på internett, som kunden må få ta del i» [94]

Altibox skiller seg noe fra andre tjenestetilbydere ved at de har et fibernett med høy kapasitet. Således kan det være at de ikke merker trykket fra innholdsleverandørene like sterkt.

Oppsummering Altibox ønsker å levere et godt tilbud til sine kunder med best mulig hastighet.

6.1.4 Telenor

Telenor regnes som en av de store aktørene på mobil kommunikasjon i Norge. De eier store deler av telenettet og drifter infrastrukturen. Telenor har markert seg i debatten om økt bruk av kapasitet og kostnader til bygging av infrastruktur. I 2011 tok Telenor til orde for å begrense enkelte innholdsleverandører som VG, NRK og Youtube:

«Vi må forholde oss til en helt ukontrollerbar trafikk. Dette betyr at vi må overinvestere i kapasitet i nettet for å være på den sikre siden. Spørsmålet vårt blir da: hvor skal vi hente pengene fra? Hvis ikke regimet endres, vil det enten føre til en drastisk prisøkning for kundene, eller så vil kun de store internettleverandørene, som har kapasitet til store investeringer, overleve» [35]

Under Ski-VM i 2011 uttrykte Telenor følgende:

«Trafikken fordobler seg hvert år, og i november var vi for første gang over 1 petabyte med data» [97]

Dette tallet svarer til hele 75 millioner videostrømmer i måneden. Siden Telenor også leverer mobil datatrafikk er de opptatt av teknologi som kan flytte data helt ut i nettene:

«Utfordringen nå er flytte mellomlagring lenger ut i nettet, gjennom rutere med innebygd cache» [97]

Våren 2012 etablerte Netflix sitt eget innholdleveransenettverk, Open Connect. Høsten 2012 kom Netflix for første gang til Norge. Da ønsket de å plassere tjenere i Telenor sitt nett, alternativt at Telenor skulle knytte seg direkte til Netflix gjennom samtrafikk. Telenor var imidlertid ikke bekvem med dette:

«Videostrømming er en så kapasitetskreven tjeneste at vi må sørge for at bruken ikke går ut over andre tjenester. Vi kan ikke gi garantier for kvalitet om vi ikke også kontrollerer nettet» [44]

Det manglende samarbeidet mellom Telenor og Netflix førte til at Telenor ble rangert lavt på Netflix sin ISP score, som brukes av Netflix for å rangere tjenestetilbydere. Denne listen benytter Netflix for å anbefale sine kunder en leverandør som har gode linjer til Netflix. Telenor har kommentert dette slik:

«Netflix har valgt å lansere i Norge uten å ha avtale om distribusjon på plass. Vi har tilbudt dem, men de vil verken kjøpe mellomlagringskapasitet, samlokasjon, båndbredde eller peering. De takker altså nei til en avtale med oss» [95]

Telenor ønsker med andre ord å være åpne for nye tjenester, men de ønsker at de som leverer trafikk skal betale for denne. Flere av innholdsleverandørene i Norge har etablert avtale med Telenor:

«Telenor ser ingen grunn til at Netflix skal kunne kreve gratis distribusjon samtidig som NRK, HBO, VG nett, TV 2 og andre betaler for distribusjon. Dette vil i tillegg være konkurransevridende» [95]

I en annen artikkel har Telenor uttalt følgende::

«Vi har avtaler om tjenestekvalitet med NRK, TV2 og Netflix' konkurrent HBO. Det betyr at vi sørger for at deres videostrømmer kommer frem til seerne med svært høy kvalitet. Og det betaler selskapene litt for. Det blir som om de leverte ferdig frankerte brev til oss og at vi bringer dem til mottakeren og sørger for at tjenestekvaliteten er høy. Det Netflix gjør, er at de dumper en masse ufrankerte brev ned i postkassen vår og forventer at vi skal bringe dem til kundene deres uten kostnad» [126]

Telenor eksemplifiserer med dette konsekvensen av trafikkutviklingen som skjer i internett og hva utviklingen har å si for verdikjeden. Telenor problematiserer videre at Netflix tilsynelatende betaler for å distribuere trafikk i USA, men ikke ønsker å gjøre dette i Norge:

«Da er det påfallende at de selv lanserer en slik bredside mot oss som de gjorde i går via flere norske media. Spesielt når de henviser til situasjonen i USA, hvor de faktisk betaler for leveransetjenestene de bruker hos nettleverandørene» [126]

Oppsummering Utifra det som er beskrevet overfor viser det at Telenor er en stor aktør i markedet, og at de ønsker at innholdsleverandører skal betale for bruk av båndbredde, alternativt at de betaler gjennom CDN, som betaler tjenesteleverandører for trafikk. I tillegg ønsker Telenor å prioritere trafikken i nettet. Siden Telenor drifter nettverk, medfører det at de er en aktør også innen dette området. De eier også innholdstjenesten Comoyo. Telenor er derfor i en særstilling både fordi de eier, drifter og leverer ulike tjenester.

6.1.5 Oppsummering tjenestetilbydere

Det er tydelig at CDN er noe som er på agendaen til de fleste av tjenestetilbyderne. Tjenestetilbyderne anfører at CDN både reduserer utenlandstrafikk og til en viss grad muliggjør distribusjon av store datamengder. Samtidig ser det ut til å være en enighet om at CDN-leverandørene må betale. Unntaket må være Altibox, som ønsker store innholdstilbydere velkommen av den årsak at kunden skal ha best mulig opplevelse.

6.2 Innholdsleverandører

Med innholdsleverandører menes de som leverer store mengder innhold over nett, og som i ulik grad benytter seg av CDN. Tjenester som Cmore, Altibox Chill, og Viasat Play er også brukere av CDN, men har ikke vært aktuelle i denne sammenhengen. De er primært tilknyttet andre tjenestetilbydere med egne linjer.

6.2.1 Comoyo

Comoyo er en aktør av film og tv på nett som eies av Telenor. Selskapet er opprettet for at Telenor skal få en sterk posisjon innen strømming. Comoyo har etablert et samarbeid med Telenor om leveranse av innhold gjennom

Tjenestetilbyder	Effekt av CDN	Betaling og kostnader
Altibox	Opptatt av at kunden skal ha best mulig forhold, og knytter seg derfor til Netflix CDN.	
Broadnet	CDN løser leveringsproblemer for innholdsleverandører.	CDN og innholdsleverandører må betale for levering av innhold.
Get	CDN har muliggjort distribusjon av store datamengder.	CDN må betale for å benytte nettet
Telenor	Reduserer trafikk via tansittleverandører.	De som leverer store mengder trafikk må være med å betale.

Tabell 6.1: Tjenestetilbyderes oppfatning av CDN

Telenor Nordic CDN [#5]. De problematiserer imidlertid utfordringen med å levere innhold helt ut i nettets ytterkant:

«Derimot har det vært en utfordring å få til «the last mile» ut til kundene. Her er vi avhengig av at avtalene med nettleverandørene er på plass med god nok kapasitet, sier teknologisjef Hovden.» [146]

Foreløpig har de imidlertid ikke hatt behov for avtaler med andre CDN om levering av innhold, ettersom Telenor dekker deres behov i dag [#5]. Comoyo mener videre at strømming av innhold har åpnet for nye forretningsmodeller som for eksempel CDN:

«Akamai var en av få CDN aktører i år 2000, da de fokuserte på caching av store filer som f.eks. download av updates for Microsoft Windows. For ISP'er var det en win-win situasjon å inngå avtaler med slike CDN-aktører på denne tiden for å redusere utenlandstrafikken og sikre god kvalitet levert til sluttkunden. Etter hvert som bredbånd ble bygd ut og Internet ble mer modent, begynte streaming å vokse. I Norge etablerte Telenor tidlig opp et streamingmiljø og god serverkapasitet, for å levere blant annet Big Brother på portalen iCanal. » [#5]

De forteller videre at CDN tilgjengeliggjorde innhold på en ny måte:

«Med sterk vekst innen streaming fra ca 2006/2007 og innovasjon innen bransjen f.eks innen http / adaptiv streaming, økte både antall video on demand tjenester, kunder og dermed også CDN aktører. Med

http basert streaming ble det dessuten svært mye lettere å opprette et CDN, og i løpet av et par år hadde antallet CDN aktører tredoblet seg.»
[#5]

Comoyo anfører at CDN har blitt en del av debatten hos tjenestetilbyderne, og at dette også har sammenheng med utfordringer i fremtidens internett:

«Vi har pr i dag ingen utfordring med å levere, men dersom f.eks kun 10 % av TV tittingen i Norge skulle flytte seg over til Internet er jeg overbevist om at nettet ville knekt sammen. I hvert fall ville det vært mange flaskehalser flere steder i nettet som ville gitt en svært dårlig brukeropplevelse for sluttkundene. Dagens modell skalerer ikke godt nok, men det finnes flere løsninger og teknologier på vei for å løse dette»
[#5]

Oppsummering Comoyo benytter i dag CDN for å få distribuert innhold ut i nettene. De anser dette som viktig for å kunne levere kvalitet til forbrukeren.

6.2.2 Netflix

Netflix er et amerikansk selskap som startet med utleie av film på DVD. De har flyttet deretter mye av virksomheten til internett, og er nå ledende på utleie av film på nett i USA[112]. På verdensbasis har Netflix ca 27 millioner medlemmer. I følge analyseselskapet Sandvine, har Netflix en markedsandel på 27 prosent av all internett-trafikk i USA. Netflix har vært en betydelig bruker av CDN i USA. Både Akamai, Limelight og Level 3 har vært benyttet av Netflix[4]. Våren 2012 annonserte de imidlertid sitt eget CDN Open Connect, og uttalte at de ønsker å gå vekk fra bruk av tredjepart CDN. Måten de gjør dette på nå er å lagre alle filmer på Amazon S3. Filmer og serier blir kodet ved hjelp av Amazon EC2 som er elastisk datamaskinkraft i internett, også kalt «skyen». Begrunnelsen for å gå vekk fra bruk av andre CDN skal være økonomisk motivert. I forbindelse med lansering av eget distribusjonsnettverk sa Netflix følgende:

«CDN er for generelt, vi kaller det for medieservere» [146]

De utdyper videre at de har laget en plattform som yter bedre enn CDN:

«Vårt innhold er stort, og vi er avhengig av en jevn levering av bits. CDN-er er optimalisert for lav forsinkelse og mindre innholdsbiter»
[146]

«Vi kan håndtere 100.000-ener av tilkoblinger parallelt til det samme innholdet. Løsningen er optimalisert rundt store filer og jevn leveranse»
[146]

På spørsmål om Netflix ønsker å gjøre avtale med tradisjonelle distributører for å distribuere innhold i Norge, svarer Netflix følgende:

«Det er ingen nødvendighet for oss å inngå slike avtaler, men vi vil ikke utelukke partnerskap for å nå ut til kundene. [...] Det handler om de riktige økonomiske avtalene» [92]

Netflix har markert seg kraftig under etableringen i Norge. Det gjelder særlig i møte med Telenor.

«Vi tilbyr alle bredbåndstilbydere å koble seg opp til vårt dedikerte CDN-nett gratis for å sikre kvaliteten ut til Netflix-brukerne. I motsetning til de andre ledende bredbåndsløseleverandørene i Norden har Telenor takket nei til dette. I stedet ønsker de at vi skal betale for å plassere vår tjeneste i deres CDN-nett, noe som i praksis betyr at de ønsker å ta betalt både fra kundene sine og fra oss for å tilby én tjeneste» [44]

Netflix mener de har jobbet for å levere innholdet til forbrukere i Telenor sitt nettverk men ikke nådd frem:

«Vi ønsker å levere bitsene til nettverket, der de ønsker at vi skal levere dem. Vi investerer i høykvalitetstjenester, og noen bredbåndsløseleverandører jobber hardt med å koble seg effektivt sammen med oss»
«Telenor for eksempel, jobber ikke hardt med å koble seg til oss. Det ser vi resultatene av her» [96]

Netflix mener videre at et eventuelt CDN i Telenor sitt nett ikke hadde utgjort noen stor forskjell:

«Størstedelen av innholdet vi leverer er via peering. Vi gjør det nettleverandørene ønsker vi skal gjøre, og er villige til å investere. Men det meste sendes via peering» [96]

Oppsummering Netflix har kuttet CDN for å spare kostnader, samtidig som de drifter sitt eget. De hevder videre at peering direkte til deres nettverk kan løse mye av kapasitetsproblemet.

6.2.3 NRK

NRK startet sin nettsatsning i 2004. I 2010 signerte NRK med Akamai, og implementerte samtidig en helt ny plattform for sin nett-tv [#4]. NRK har lenge vært en pådriver for ny teknologi gjennom sin blogg nrkbeta.no, men har brukt lang tid på å jobbe frem sin nye plattform. Årsaken til at Akamai ble valgt, begrunner NRK slik:

«Akamai ble valgt på bakgrunn av eksisterende infrastruktur, leveringsevne, teknologi og pris» [60]

De gir samtidig ingen ubetinget hyllest av tjenesten, og uttrykker at Akamai har visse krav om levering av innhold:

«Dette er ikke første gang vi benytter Akamai. Det selskapet forplikter seg til i den nye avtalen, er å levere problemfritt innenfor de trafikk tallene vi har opplevde under tidligere, store sportsarrangementer som for eksempel OL» [60]

Samtidig erkjenner NRK at det hadde vært optimalt for norske forhold å ha ett CDN som alle tjenesteleverandørene hadde sluttet opp om [#4]:

«Vi hadde svært gjerne sett et samarbeid mellom norske operatører som hadde gitt oss et komplett mellomagringstilbud til alle norske nett. Det hadde vært det optimale for NRK» [60]

De hevder at for eksempel Telenor sitt CDN er optimalt, men kun innenfor sitt eget nettverk:

«Vi er avhengig av en partner som, slik vi vurderer det, kan levere til alle nettverk i Norge. Ser man på Telenor, så er de gode innenfor sitt nett. Men dette dekker bare 40 prosent av den norske befolkningen. Det holder ikke for NRK» [60]

Under Ski-VM i Holmenkollen leverte NRK rekordtall på strømmende innhold på internett. De tillegger CDN mye av æren for at det var mulig:

«Disse resultatene hadde vi ikke klart å oppnå uten å bruke CDN» [149]

Samtidig erkjenner de at:

«Vi tror vi med dette traff en smertegrense for hva det norske nettet tåler, sa han.» [61]

NRK følger opp bekymringen med å reflektere over fremtidens nettverk:

«Nå er det riktignok helt spesielt å arrangere ski-VM på hjemmebane. Men dersom veksten fortsetter i samme fart, tør jeg ikke spå hva som skjer under neste, store arrangement» [61]

Oppsummering NRK er i dag bruker av Akamai og ser på dette som viktig for å klare å levere til et bredt publikum og ved store tilstelninger som for eksempel VM.

6.2.4 TV 2

TV 2 er eieren av plattformen TV 2 Sumo som leverer både live og på forespørsel TV via internett. TV 2 startet tidlig sin satsning på internett. Fra å være en tilleggstjeneste som brukte penger, fikk TV 2 Interaktiv etterhvert krav på seg om å tjene penger. På grunn av TV 2 sin betalingsmodell for innhold på nett - var dette mulig.

TV 2 er i dag en betydelig aktør i det norske nett-tv markedet. Med TV 2 Sumo har de klart å bygge en bærekraftig økonomi basert på kundebetaling og abonnement. Betalingen startet i 2002, da daværende TV 2 Interaktiv fikk beskjed om å være en inntektskilde for konsernet. Allerede i 1997 bestemte TV 2 seg for å være ledende på innholdstjenester på nettet [#1]. TV 2 har derfor lenge levd med flaskehalsproblematikken til internett lenge. Før enkelte toppkamper i fotball har de solgt tribuneplasser i de ulike nettene, for å sørge for at de som bestilte først - fikk kvalitet. Det førte blant annet til aviskrig hvor TV 2 ble beskyldt for å ikke være nøytrale med tanke på nettnøytralitet [#1].

Microsoft introduserte MS Silverlight teknologi med adaptiv bitrate i 2009. TV 2 var av de første til å ta i bruk denne teknologien, og den første i Norge til å levere live HD på nett. Det gav TV 2 Sumo et veldig løft. Plutselig ble en strøm levert jevnt, uten stopp og bufring. I stedet varierte kvaliteten, alt etter brukerens tilgjengelige maskinkapasitet og båndbredde. Men adaptive bitrate og Silverlight gav alt TV 2 behøvde [#1]. Teknologien optimerer levering betraktelig, men gjør at TV 2 må drifte en stor infrastruktur. Dessuten forsvinner ikke problemet med overbefolkede koblingspunkter. Derfor signerte TV 2 med Akamai i 2010 for å kunne levere innholdet på en rask og effektiv måte [#1]. TV 2 sin kundeflate er også avhengig av god distribusjon, ettersom den befinner seg på ulike lokasjoner verden over:

«30 prosent av kundebasen vår befinner seg til enhver tid utenlands, hovedsakelig i Spania, Storbritannia, USA og Thailand. Vi trenger rett og slett hjelp for å få innhold distribuert dit» [93]

TV 2 har helt fra starten av vært opptatt av å levere god teknologi på sin nettsatsning. Det har de klart med implementering av MS Silverlight kombinert med Akamai sine CDN tjenester. TV 2 verdsetter måten CDN leverer ulike tjenester som for eksempel innpakning av innhold:

«CDN-operatørene driver også med formatkopiering. Det betyr at vi kjører en innholdsstrøm inn og så brekker disse om og leverer innholdet på verdensbasis, sier Sørum.» [93]

TV 2 gir et tilbakeblikk på hvordan innholdslevering har foregått i Norge:

«For få år siden var det en forretningsmodell som handlet om å plassere ut egne server i riggene til ISP-ene i Norge. Dette ga ISP-ene en liten inntekt, men denne modellen har nå falt helt bort» [93]

I dag benytter TV 2 utelukkende CDN til levering av tyngre innhold.

Oppsummering TV 2 benytter CDN for å distribuere innhold til både brukere i Norge og i utlandet. Uten CDN ville ikke distribusjon til deres kunder gitt god nok kvalitet.

6.2.5 VG

VG er en av Norges største løssalgssaviser, og har de senere årene satset sterkt på internett gjennom å tilby ulike klipp og live-TV ved store hendelser. De har tegnet avtale om å levere innhold via CDN, men er samtidig klare på at slike tjenester ikke er gode nok for norske forhold enda:

«Desverre er ikke CDN'ene gode nok for at det er noen spesiell hastighetsøkning for oss å bruke dem så lenge 99% av kundene våre også er Norge. Det eneste er rent båndbreddemessig for videostreaming slik at ikke NIX'en og annet går full. Og at vi leverer video så nærme kunden som mulig.» [#4]

Oppsummering VG har tatt i bruk CDN for å gjøre seg i stand til å levere innhold til en stadig økende brukermasse og flere programmer og klipp på nett.

6.2.6 Google

Google eier en stor del av trafikken som foregår på internett gjennom sin søkemotor, video-tjenesten Youtube og e-posttjenesten Gmail. De har kommentert tjenestetilbyderes krav om betaling på følgende sett:

«Bruk av Google og Youtube utgjør en signifikant andel av trafikken på internett. Men en annen måte å se på dette på er at vi og våre tjenester er en av de største årsakene til at norske brukere og bedrifter kjøper internettaksess.» [35]

I tillegg til å være en tilbyder av innhold, eier Google sitt eget CDN som de plasserer ut i ulike tjenesteleverandørers nett. Det reduserer transittrafikken til tjenesteleverandørene [47].

CDN	Innholdsleverandør
Akamai	NRK, TV 2, VG, Dagbladet, SVT, TV 4 Play
Telenor Nordic CDN	NRK, TV 2, Comoyo
Google	Youtube, Gmail, Google Search
Netflix Open Connect	Netflix

Tabell 6.2: Norske innholdsleverandører og deres bruk av CDN

6.2.7 Oppsummering innholdsleverandører

Flere og flere innholdsleverandører ser på CDN som et viktig verktøy for å distribuere innhold til en voksende brukermasse. I takt med krav om høyere kvalitet er distribusjon av tungt innhold stadig viktigere for innholdsleverandørene. Ved å bruke CDN, tilfredsstilles behovene til kvalitet, samtidig som kostnaden til infrastruktur reduseres.

Diskusjon

Jeg vil i dette kapitlet diskutere hvordan CDN påvirker internettets egenskaper og hvordan CDN påvirker internettets nettnøytralitet.

7.1 Påvirker CDN internett?

For å kunne diskutere om CDN endrer internettets egenskaper, er det viktig å se på hva et CDN faktisk gjør. Deretter vil jeg diskutere hvordan de ulike effektene av et CDN, påvirker internettets egenskaper. Dette omfatter både skalerbarhet, pålitelighet og sikkerhet, egenskaper som arkitekturen legger føringer for [78].

7.2 Skalerbarhet

I internettets tidlige begynnelse var kommunikasjonen mellom ulike terminaler mindre omfattende. Kommunikasjonen foregikk i stor grad fra endeterminal til endeterminal, med lite innhold. Denne modellen skalerte godt. Med introduksjonen av verdensveven ble kommunikasjonen endret fra en-til-en, til en-til-mange. Det ble fort oppdaget at internett fikk problemer med denne modellen. Den terminalen som tilbød innholdet ble en flaskehals, og den økende mengden med brukere fikk ikke tak i innholdet de ønsket.

Da CDN ble introdusert, var det i første omgang for å løse kildeproblemet. Etter hvert økte størrelsen på bilder, dokumenter og programvare i takt med den økende teknologiutviklingen. Det førte til et nytt problem i internettets mellomlinje, der trafikken utveksles mellom tjenestetilbyderne. Der trafikken måtte gjennom flere nettverk, ble forsinkelsene enda større, og pakketapene flere. Selv om internett taklet den voksende mengden med brukere på internett, skalerte ikke internettets infrastruktur godt nok til å takle stadig større datamengder.

Med introduksjonen av CDN ble både kildeproblemet og problemet i internettets mellomlinje satt fokus på. Ettersom internett ikke klarte å skalere i takt med teknologiutviklingen, søkte CDN å gjøre det. I løpet av årene som har gått siden det første CDN ble introdusert, har markedet vokst betraktelig. I dag finnes det flere leverandører av CDN, og denne studien har nevnt noen av disse (se tabell 5.4).

Denne studien har undersøkt bruken av CDN i Norge. Resultatet tyder på at de som overfører båndbreddeintensivt innhold, er stadig mer avhengig av CDN. For eksempel uttrykker TV 2 at de ikke hadde klart å levere innhold til sine kunder, hvis det ikke hadde vært for deres bruk av CDN [#1]. NRK har sagt at de var avhengige av CDN, spesielt ved store mesterskap og arrangementer som VM [#4]. VG tok i løpet av 2012 i bruk Akamai for å levere videoklipp og direktesendinger [#2]. Både TV 2 og NRK hevder at de ikke hadde klart å levere den kapasiteten som er nødvendig for å møte brukernes behov, hvis det ikke hadde vært for CDN. På bakgrunn av det overstående er det nærliggende å argumentere for at CDN har påvirket internettets skalerbarhet.

Samtidig hevder flere av tjenesteleverandørene at både innholdsleverandører og CDN belaster internett med store mengder trafikk som presser kapasiteten [#6,#8]. Det argumenteres også for at utbygging av infrastruktur er nødvendig for å holde tritt med stadig økende kapasitetskrav fra brukerne. Denne kapasitetsøkningen er igjen en konsekvens av at innholdstilbydere tilbyr båndbreddeintensivt innhold. Det kan virke som om tjenestetilbyderne mener at CDN ikke påvirker internettets skalerbarhet. Samtidig kan det likevel være at tjenestetilbydernes bekymring også er av økonomisk art, og at de ikke ønsker å være utenfor verdikjeden [121] i internett, ved kun å levere aksess. Det er tross alt flere av tjenestetilbyderne som argumenterer for at CDN har gjort innholdslevering mer effektivt i internett [#8,#9].

Innholdsleverandørene argumenterer altså for at CDN er nødvendig for å levere innhold i internett. Samtidig framhever tjenesteleverandørene at CDN presser kapasiteten, men innholdslevering gjøres enklere. Ut fra dette kan man hevde at at CDN har påvirkning på internettets skalerbarhet.

En annen følge av CDN er at trafikken i internett flytter innholdet nærmere brukeren. Dette påvirker internettets skalerbarhet, fordi kapasitetskravene i mellomlinjen reduseres. Den trafikken som tidligere måtte gjennom flere nettverk, går nå over kortere avstander [70]. Det betyr at CDN bidrar til en mer effektiv levering av trafikk i internett.

Fra et teoretisk perspektiv kan man argumentere for at arkitekturen i internett har åpnet opp for krevende applikasjoner og innhold. Samtidig har ikke arkitekturen i internett vært i stand til å levere en kvalitet som kreves

for nye applikasjoner og innhold. Det er altså et misforhold mellom nye tjenester og den eksisterende arkitekturen i internett. Allikevel hevdes det at CDN har løst dette problemet ved flytte innholdet nærmere brukeren og effektivisere innholdleveringen [139]. Dette støtter posisjonen til CDN, som en viktig aktør i internettets utvikling [139].

I den grad CDN beskrives som et overlag i internett, er det naturlig å se på hvorvidt et CDN er skalerbart. I teorien om overlag i internett, argumenteres det for at slike overlag kan representere en ny infrastruktur i internett [29]. Derfor er det nærliggende å se nærmere på hvorvidt CDN i seg selv skalerer. Akamai er et veldokumentert CDN [40, 98]. Et gjennomgående tema i artiklene som beskriver Akamai, er plattformens evne til å skalere [5, 110]. For eksempel er systemet laget på en måte som gjør det mulig å overvåke store deler av infrastrukturen på en effektiv måte [110]. Videre er systemet bygget slik at det skal være enkelt å legge til nye noder ute i nettverket [5]. På den måten vil nye krav til kapasitet, og vekst i antall brukere i internett, kunne møtes ved å skalere infrastrukturen til Akamai.

7.2.1 Oppsummering

Fra det overnevnte kan man argumentere for at et CDN er skalerbart. I den grad CDN fungerer som et overlag i internett, endrer det også på internettets skalerbarhet i positiv forstand. Internett klarer ikke å møte de kapasitetsutfordringene som har oppstått de senere årene i seg selv. Derfor er CDN avgjørende, for at innholdsleverandører skal klare å levere innholdet sitt til sine kunder. En samlet vurdering tilsier at internettets skalerbarhet dermed påvirkes i positiv retning ved at CDN benyttes.

7.3 Pålitelighet

Ende-til-ende-prinsippet legger føringer for at funksjonaliteten i et nettverk skal ligge i endeterminalene for å oppnå et mest mulig pålitelig og effektivt nettverk [111]. Hensikten med ende-til-ende-prinsippet, er at feil i nettverket kan ivaretas av funksjonalitet i terminalene. Nye tjenester har imidlertid økt behovet for pålitelighet, som ikke kan ivaretas av applikasjoner i nettverket. Ved kabelbrudd, strømbrytning eller andre feilkonfigureringer vil kommunikasjonen brytes, med det resultat at endeterminalen eller brukeren ikke får tilgang til innholdet [98]. En følge av dette blir at internett ikke har den nødvendige påliteligheten som er nødvendig for dagens utfordringer [98].

Det er imidlertid flere som hevder at CDN eliminerer deler av problemene i internett [40, 98]. Ved å flytte innholdet nærmere brukeren, elimineres upålitelighet i overføring mellom ulike tjenestetilbydere, og sannsynligheten for feil ved kabelbrudd, strømbrudd og andre feilkonfigureringer blir mindre [98]. Når innholdet er nærmere brukeren, øker påliteligheten [104]. Dette viser at CDN påvirker internettets pålitelighet. Videre kan det diskuteres om innholdsleverandører hadde benyttet CDN hvis det ikke var pålitelig. Dette er en diskusjon jeg ikke vil gå nærmere inn på, fordi jeg mener det ikke er like relevant for min problemstilling.

Påstanden om at CDN påvirker internettets pålitelighet utfordres fra ulike hold. Flere mener at bruken av CDN fører til en flatere struktur i internett [70] (se figur 2.3 og 2.3). Mindre av trafikken går via transittleverandører, men leveres i stedet fra store samtrafikkpunkt direkte til tjenestetilbyderne og videre til brukeren [104]. Endringen i hvordan trafikk leveres kan føre til et mer upålitelig og sårbart nettverk [104]. Hvis et samtrafikkpunkt faller ut eller en CDN-leverandør får problemer, vil det påvirke trafikken i internett. Den tradisjonelle evnen til å levere trafikk vil ikke være tilstrekkelig og brukerne i internett vil ikke få tak i innholdet de søker [104]. Akamai hevder at de står for en stor del av trafikken i internett i dag [6]. I Norge er flere innholdsleverandører avhengige av Akamai for å levere innhold. Hvis Akamai faller ut på grunn av en teknisk feil, kan det bety at store deler av Norges befolkning får begrenset eller ingen tilgang til TV 2 eller NRK sitt strømmende innhold.

CDN påvirker internettets pålitelighet både positivt og negativt [40, 98, 104]. Muligheten for at feil oppstår reduseres ved å flytte innholdet nærmere brukeren [104]. Dette er positivt. Ulempen er allikevel at trafikken blir avhengig av få leverandører som kan svikte og dermed gjøre innholdet utilgjengelig.

Påstanden om at CDN påvirker internettets pålitelighet utfordres fra ulike hold. Det anføres at bruken av CDN fører til en flatere struktur i internett [70] (se figur 2.3 og 2.3). Mindre av trafikken går via transittleverandører, men går i stedet fra store samtrafikkpunkter og direkte til tjenestetilbyderne og videre til brukeren [104]. Endringen i hvordan trafikk utveksles, kan også føre til et mer upålitelig og sårbart nettverk [104]. Hvis et samtrafikkpunkt faller ut eller en CDN-leverandør får problemer, vil det påvirke trafikken i internett. Den tradisjonelle evnen til å levere trafikk vil ikke være tilstrekkelig og brukerne i internett vil ikke nå det innholdet de søker [104]. Akamai står i følge de selv for en stor del av trafikken i internett i dag [6]. I Norge er flere innholdsleverandører avhengige av Akamai for å levere innhold. Hvis Akamai faller ut på grunn av en teknisk feil, kan det bety at store deler av

Norges befolkning får begrenset eller ingen tilgang til TV 2 eller NRK sitt strømmende innhold.

CDN påvirker med andre ord internettets pålitelighet både i positiv og negativ retning [40, 98, 104]. I en positiv retning fordi muligheten for feil reduseres ved å flytte innholdet nærmere [104]. I negativ retning ved at trafikken blir avhengig av få leverandører som igjen kan svikte.

I 2004 hadde for eksempel Akamai et større problem med sitt system. Store nettstedet som Google og Microsoft ble utilgjengelige for en periode på grunn av en feil med flere navnetjenere. En komponent som var viktig for optimal ruting og pålitelig overføring ble det svakeste ledd.

«Whatever happened to my decentralized net with no single point of failure?»¹

I 2011 opplevde Akamai et liknende problem som de hadde i 2004. Sider som Facebook, Twitter og Apple.com ble utilgjengelige i en time [71]. I begge tilfelle argumenterte imidlertid Akamai for at det kun var et par prosent av den totale trafikken som ble rammet. Problemet kan imidlertid bli større hvis ulike CDN bærer stadig større andel av trafikken. Samtidig underbygger disse hendelsene argumentet om at større avhengighet av færre leverandører, gir redusert pålitelighet i internett, fordi trafikken da blir avhengig av få leverandører [104]. I de nevnte situasjonene var det deler av oppkoblingssystemet til Akamai som ble satt ut av drift. Oppkoblingssystemet til Akamai er avhengig av et system som kalles DNS [42]. Det er derfor interessant å se nærmere på bruken av DNS generelt og DNS i CDN spesielt.

DNS er en oppslagsbok for domenenavn, og informasjonen i denne er svært konstant. Informasjon som ligger i DNS har vært mulig å mellomlagre i lokale navnetjenere. DNS er i tråd med ende-til-ende-prinsippet og dette betyr at DNS ikke tilfører internett noen endring av infrastruktur [73]. Formålet er å oppnå pålitelighet, og teknologien er dermed plassert på riktig sted [111]. DNS er også laget slik at den skal være robust og tåle mange forespørsler samtidig [127, 128]. Derfor bør ikke bruken av DNS i CDN i utgangspunktet medføre noen redusert pålitelighet på tross av de nevnte utfallene. Som datamaterialet i denne studien viser, benytter Akamai DNS for å både balansere trafikk i nettet og for å rute brukeren til nærmeste node i nettverket [5, 42]. Imidlertid har bruken av DNS møtt kritikk, fordi det reduserer belastningen på de sentrale navnetjenerne [128]. CDN endrer på

¹Dette ble kommenter på teknologinettstedet Slashdot, se <http://slashdot.org/story/04/06/15/1427213/akamai-dns-outage-messes-up-net>

bruken av DNS ved å sette gyldigheten på informasjon lavere, nettopp av den årsak at informasjonen skal oppdateres hurtig.

«Based on the measured load of each content server's system and network, and on an estimate of each content server's proximity to that requester, a DNS response is crafted to direct that requester to the closest or best content server for that URI domain» [128, s. 1]

Bruken av DNS på denne måten, fører til at de sentrale navnetjenerne får høyere belastning enn nødvendig [127]. Det påvirker både ytelse og stabilitet i DNS [127].

7.3.1 Utfordringen med alternative DNS-tjenester

For at Akamai sitt system skal fungere, må den lokale navnetjeneren benyttes [127]. Hvis en bruker er koblet mot alternative DNS-tjenester som OpenDNS eller Google DNS, vil resultatet bli anderledes. Akamai benytter nemlig IP-adressen til DNS-tjeneren for å lokalisere hvor i nettet brukeren befinner seg. Ved benyttelse av alternative tjenester risikerer man å bli tilegnet en node fra et CDN som er langt unna. Apple Insider omtalte i 2010 problemet med at nedlasting i iTunes og Apple TV gikk tregt hvis Google DNS ble benyttet [39].

Hvis alternative DNS-tjenester benyttes, virker ikke et CDN etter sin hensikt. I stedet for at innholdet på en nettside blir levert fra en node som ligger i topologisk og geografisk nærhet, kan innholdet komme fra en annen del av verden. Dermed reduseres nytten av CDN. Hvis CDN bedrer internettets pålitelighet, vil ikke denne effekten være like signifikant ettersom innholdet blir levert langt unna.

Det finnes imidlertid løsninger som søker å løse problemet med alternative DNS-tjenester [38]. Det er også foreslått å endre protokollen DNS, slik at den tar høyde for brukerens IP i DNS². Akamai har forsøkt å møte dette problemet ved å legge inn funksjonalitet som benytter brukerens IP-adresse hvis det er dårlig gjennomløp på en overføring [87]. Dette er imidlertid en løsning som berører strømmende innhold, og ikke vanlige objekter på en nettside. Dette er fordi grensesnittet i videoavspilleren til Akamai har løpende kontakt med den noden som betjener brukeren med innholdet, og på den måten kan måle overføringen [42].

Isolert sett kan det argumenteres for at Akamai og andre CDN som benytter seg av DNS eliminerer mange av problemene i internett [5, 42, 74, 98]. Samtidig har enkelte tatt til orde for at CDN-leverandører bruker DNS på en ikke tilsiktet måte, som har negative effekter. Som Vixie uttrykker det:

²<http://tools.ietf.org/id/draft-vandergaast-edns-client-subnet-01.txt>

«more network load for access-side networks and a slightly higher floor for average transaction time.» [128, s. 1]. Bruk av DNS i systemene til CDN går i følge Vixie, på bekostning av navnetjeneres ytelse og stabilitet. Samtidig har de hendelsene med utfall av CDN-systemer vært kortvarige. Det kan derfor diskuteres om dette er en reel trussel, spesielt når en vet at det er bygget inn funksjonalitet som ikke bare skal holde systemet gående, men også sørge for at det kommer opp igjen hvis det skulle skje noe feil [5].

7.3.2 Oppsummering

Det er flere som tar til orde for at CDN øker påliteligheten i internett. Ved å flytte innholdet nærmere brukeren, reduseres mulighet for feil i nettverket. Det anføres videre at trafikken i internett går i økende grad direkte fra CDN og til tjenestetilbyder [70]. Av den grunn er det rimelig å anta at CDN faktisk øker påliteligheten i internett. Det er likevel grunn til å undersøke om argumentet holder vann. Akamai sin plattform har visst seg å være pålitelig, med noen få unntak. I 2004 og 2011 medførte bruken av CDN at deler av internettets brukere ikke fikk tak i innholdet de søkte. Årsaken til hendelsene var at Akamai sitt DNS-system ikke fungerte. Bruken av DNS til delegering av trafikk har vært kritisert [127]. Samtidig ser det ikke ut som at CDN-leverandørene har som mål å stoppe bruken med det første [38, 87, 127].

Det er lite trolig at innovative bedrifter hadde benyttet en teknologi som var upålitelig i et system, som i høyeste grad er avhengig av å øke påliteligheten i internett. Samlet sett vil jeg derfor argumentere for at bruken av CDN øker internettets pålitelighet, mer enn effektene av CDN degraderer internettets pålitelighet. Internett har visst seg å være pålitelig nok. Tatt i betraktning hvordan CDN er utformet med tanke på stabilitet og effektivitet [5, 110], er det vanskelig å se at bruken av CDN vil innføre mindre pålitelighet i internettet.

«notice that the Internet is VERY reliable, it is very rare that there are significant outages – even when there are attacks or failures ISPs recover quickly. . . » [104, s. 191]

7.4 Sikkerhet

Internettets arkitektur åpner opp for innovasjon av nye tjenester og applikasjoner. Enkelte har argumentert for at ende-til-ende-prinsippet er kodet inn i arkitekturen i internett og dermed tilrettelagt for vekst. Videre har det ikke vært noen sentralisert kontroll som har avgjort hvilke tjenester

og applikasjoner som har kunnet oppstå. Medaljen har imidlertid en bakside som gir negative effekter. Virus, søppelepost og tjenestenektangrep er konsekvenser av et åpent og fritt internett [18, 32]. I en rapport går det frem at antall tjenestenektangrep økte med 200 prosent i 2012 [12].

«In many ways, DDoS has become the weapon of choice for multiple types of attackers, from political activists to criminals, and potentially even nation-states.» [12, s. 8]

Som en følge av økningen i negativ adferd på internett, blir sikkerhet satt på dagsorden. Utfordringen er imidlertid at internett ikke har noen beskyttelsesmekanisme mot slike negative effekter. Det er fritt frem å angripe andres infrastruktur eller sende e-post med upålitelig eller unødvendig innhold. Et åpent internett har med andre ord både gitt mulighet til positiv og negativ innovasjon. Det er dermed interessant å se på om CDN påvirker internettets sikkerhet. Isolert sett er nemlig ikke sikkerhet internettets beste egenskap. Samtidig legger internettets generativitet til rette for at nye tjenester kan oppstå - også for å lempe på negativ innovasjon. Da CDN ble utviklet på slutten av nittitallet, var det først og fremst for å levere trafikk. Flere CDN-leverandører har imidlertid begynt å tilby tjenester som skal stoppe negativ adferd. Datamaterialet i studien viser at for eksempel tjenestenektangrep kan stoppes av et CDN [10]. Et distribuert nettverk slik som Akamai tilbyr, har mulighet for å stoppe trafikk på mange lokasjoner samtidig. Det reduserer presset på lokal infrastruktur. Videre elimineres også meningsløs trafikk over internett [10]. Angrep på databaser kan gjenkjennes og stoppes før de når de når de aktuelle nodene [10]. Ved å benytte datakraft i ulike CDN, kan også nettsider sjekkes for virus og annen skadevare. Det benytter for eksempel antivirusselskapet F-Secure seg av:

«Åpner du et nettsted sendes det samtidig en forespørsel til oss. En global clustertjeneste med serverparken til Akamai sørger for at det går raskt» [56]

Det er nærliggende å argumentere for at disse tjenestene har påvirkning på internettets sikkerhet ettersom den opplevde sikkerheten bedres. Det er imidlertid argumentert for at plattformen til Akamai kan være sårbar for samme type tjenestenektangrep som de forsøker å stoppe på vegene av andre [117]. Her er det nok en gang DNS-systemet til Akamai som kritiseres, og betegnes som det svakeste ledd [117]. Det er to argumenter som taler mot kritikken. For det første er kritikken fem år gammel. Det rimelig å anta at Akamai har adressert disse svakhetene, i den grad de stemmer. For det andre har Akamai en stor og distribuert plattform som stadig utvikles til å møte

nye brukermengder [5, 98]. Det ville derfor være unaturlig hvis de ikke tar høyde for at angrep på sin egen infrastruktur kan forekomme.

7.4.1 Oppsummering

Uavhengig av svakhetene i DNS-systemet til Akamai er sikkerhetstjenestene som tilbys et viktig bidrag til det økende behovet for å møte sikkerhetsutfordringer i internett. De tjenestene som flere CDN tilbyr adresserer flere av de negative konsekvensene med et åpent og fritt internett som er tuftet på et ende-til-ende-prinsipp. Det kan synes som at CDN ikke bare påvirker sikkerheten i internett til det bedre, men også sørger for å bevare et åpent og fritt internett ettersom negative effekter elimineres. Når sikkerhetsfunksjoner legges i mellomledd i internett er dette også i tråd med den oppdaterte tolkningen av ende-til-ende-prinsippet som betegnes som tillit-til-tillit [28]. I tillit-til-tillit-prinsippet legges funksjonalitet der den forventes å kunne gjennomføres på en tillitsfull måte av brukeren. Forventes det at sikkerhetsfunksjoner kan gjennomføres av CDN på en tillitsfull måte, er det dermed i tråd med den oppdaterte tolkningen [28].

7.5 Tilpasningsevne

Internett har klart å skape en arena for innovasjon og vekst med sin enkle og åpne infrastruktur [78]. Det er videre argumentert for at internett er en generativ teknologi, ettersom den åpner opp for utilsiktede endringer og nye bruksmønstre [147]. Likevel er det hevdet at internett ikke er tilpasningsdyktig til nye teknologier [98].

7.5.1 IPv6 og de-facto infrastruktur

Internett er i ferd med å gå tom for IP-adresser. Det problemet har internett vært klar over siden tidlig på nittitallet. IPv4³, protokollen som styrer adressene har bare 2^{32} adresser tilgjengelig⁴. Den nye protokollen som skal ta over for IPv4, ble lansert i 1995 [9, 98] med navnet IPv6⁵. Den har relativt større antall tilgjengelig, hele 2^{128} adresser⁶.

Det som er utfordringen er at internett ikke har klart å adoptere den nye protokollen enda. Det har flere årsaker. For det første har ikke det tekniske utstyret vært klart. Rutere, maskinvare, nettverkskort og programvare har hatt behov for oppdatering. Per i dag støtter det meste av utstyret på

³Se RFC 791 <http://tools.ietf.org/html/rfc791>

⁴Tilsvaret 4.294.967.296 adresser

⁵Se <http://tools.ietf.org/html/rfc2373> og <http://tools.ietf.org/html/rfc2374>

⁶Tilsvaret 340.282.366.920.938.000.000.000.000.000.000.000 adresser

markedet IPv6, men en rekke rutere har fortsatt ikke fått den nødvendige oppgraderingen. For det andre er en oppgradering av utstyr kostbar. Hvis en innholdsleverandør skal oppgradere hele infrastrukturen sin, vil det ha en høy kostnad. Det samme gjelder for en operatør. Her kommer også et av Akamai sine argumentasjonsrekker inn. Som innholdsleverandør skalerer du enten for stort, og lider med for store kostnader resten av året, eller så skalerer du for lite, og taper marked på grunn av for lite kapasitet. Begge muligheter kan i verste fall føre til konkurs [98]. For det tredje er ikke IPv6 bakoverkompatibel. Det innebærer at brukere som går over på den nye protokollen (innholdsleverandører eller kunder av ISPer), ikke vil ha mulighet til å nå innhold som ligger tilgjengelig via IPv4. Som ISOC anfører: «You must ensure all content is available via both IPv4 and IPv6 for the foreseeable future in order for it to be visible to all users» [54]. Derfor har mange innholdsleverandører og operatører av nettverk sittet på gjerdet og ventet. En overgang til IPv6 vil medføre en kostnad både på infrastruktur og for brukere.



Figur 7.1: Akamai løser IPv6-problemet [9]

Løsningen er ikke langt unna. Det finnes såkalte «dual-stack» løsninger for å løse problemet. Disse er imidlertid ikke gode nok, og det er en for høy kostnad hvis innholdsleverandører skal benytte seg av slike i sitt eget nettverk. Det som er en mulig løsning er CDN-leverandørene. De har lansert en tjeneste som fjerner kostnaden for både brukere og infrastruktur. Måten dette gjøres på er at innholdet til en innholdsleverandør blir tilgjengeliggjort for et CDN som distribuerer innholdet videre til sin infrastruktur (Se figur 7.1). Det bygges med andre ord en bro mellom gamle og nye protokoller, som skalerer. The Internet Society er en av de grupperingene som har arbeidet for at overgangen til IPv6 skal foregå så smertefritt som mulig. De jubler for disse nye løsningene:

«The cool thing about a CDN is that once your content is in its network, that content can be easily made available over both IPv4 and IPv6 – even if YOUR web server is IPv4-only!» [54]

I følge ISOC tilbyr både Akamai, Limelight Networks, CloudFlare og Edgecast slik funksjonalitet [54]. En skalerbar, billig og enkel måte er mulig ved hjelp av CDN.

Det er ikke tvil om at en endring fra IPv4 til IPv6 er en endring av internettet. Protokollen er selve fundamentet i kommunikasjonen mellom ulike nettverk. En oppgradering fra IPv4 til IPv6 er som nevnt avhengig av at alle er med for at alle skal kunne dra nytte av en slik endring. Men hva er det CDN-leverandørene gjør? På den ene side fremskynder de prosessen ved å få flere innholdsleverandører til å tilby innholdet over IPv6. Samtidig sørger CDN-leverandørene for at de samme innholdsleverandørene kan vente med å oppgradere eget utstyr til de finner anledningen til det selv. I den forstand kan en argumentere for at det lages en hybridløsning som ligger over det eksisterende internett [29].

Det er imidlertid ikke slik at en slik hybridløsning vil kunne representere en ny infrastruktur i internett, med mindre den blir adoptert av en betydelig mengde aktører. I dag har såpass mange aktører allerede gått over til IPv6 at det er vanskelig å tro at et slikt hybridnett kan representere en endring. På den annen side, betyr slike hybridnett at en endring kan rulles ut i internett med større hurtighet enn det som har vært mulig før. Det argumenteres for at internett har hatt en lav adopsjonsrate, og benytter IPv6 som et eksempel på dette. Tjenestene som et CDN tilbyr, medfører kanskje en endring av internettets tilpasningsevne til det bedre.

7.5.2 Innpakning

Den eksplosive veksten i bruk av mobile enheter, fører til at innholdet må presenteres på ulike måter, med ulik kvalitet og innpakning. For å sikre leveranse til sluttbruker, er det viktig at innholdet blir gjort tilgjengelig på alle plattformer og enheter. Ulike CDN-leverandører tilbyr tjenester som møter dette behovet. Kunder av CDN-leverandører kan levere enten et videoklipp eller en live-strøm. Deretter kan for eksempel Akamai, ta seg av lagring, distribusjon og innpakning, og på den måten møte kravene til de ulike enheter og plattformer. Dermed kan innholdsleverandører fokusere på sin kjernevirksomhet, og ikke på innpakning og levering. På den måten blir også terskelen for å tilby innhold på nettet lavere. Man kan sette spørsmålstegn ved hvorvidt dette endrer internettets tilpasningsevne i særlig grad. Men i

likhet med innføringen av IPv6, gjør CDN tilpasning til ny teknologi mulig med liten innsats fra innholdsleverandør.

7.5.3 Oppsummering

Av det overstående er det naturlig å argumentere for at CDN kan innføre teknologi på en effektiv måte ved å bruke en distribuert plattform. Et eksempel på dette er Akamai som ruller ut IPv6 teknologi på en smidig måte, uten at innholdsleverandører behøver å endre infrastruktur. I møte med internettets generative kapasitet, men likevel lave adopsjonsevne er det mulig å argumentere for at CDN påvirker internettets tilpasningsevne. Nå er dette et eksempel, og det har dermed begrenset gyldighet. Samtidig gir det en indikasjon på at CDN er med å endre internettets tilpasningsevne.

7.6 Regulering

Det er kjent at Google benytter sitt eget CDN til levering av innhold. De er imidlertid restriktive med å fortelle hvor innholdet til en hver tid ligger. Det ble et problem for blant annet Narvik kommune som har tatt i bruk «Google Apps» som plattform for e-post og dokumenter [57].

Da det ble kjent at kommunen hadde tatt i bruk skytjenester for e-post og samhandling, kom Datatilsynet på banen. Det ble en prinsippsak for norske myndigheter som var opptatt av hvordan personvernet ble ivaretatt. Dataene som ble lagret kunne nemlig lagres på tjenere som lå utenfor norsk jurisdiksjon. Datatilsynet nektet kommunen å benytte tjenestene inntil de hadde redegjort grundig for tjenesten. Narvik kommune engasjerte advokabyrået Simonsen for å hjelpe til med å svare på myndighetenes dokumentasjonskrav. Enden på historien ble at Narvik kommune fikk benytte Google [36].

Begrepet «tussle in cyberspace» beskriver dynamikken som foregår mellom ulike parter med ulike interesser i internett [32]. Det argumenteres for at slik tussle er med å forme den videre veksten i internett [32]. Derfor er det også viktig å legge til rette for slike prosesser. Prosessen mellom Narvik kommune, Google og Datatilsynet kan sees på som en slik tussle, der utfallene påvirker internettets videre utvikling.

I følge Datatilsynet, la de selv til rette for en åpen og gjennomiktig diskusjon [36]. Narvik kommune fikk uttale seg, og Google var også med på prosessen. Resultatet var at Datatilsynet fikk gjennomslag for sine mål, kommunen kunne ta i bruk en ny e-post og samhandlingstjeneste, og Google fikk selge sitt produkt. Underveis måtte både Google og Narvik kommune

strekke seg et stykke på veien og gjøre nødvendige endringer i avtaler og regelverk [36].

Nå er ikke Google sin kjernevirksomhet å være et CDN. Likevel vil jeg argumentere for at flere av tjenestene, inklusive Googles CDN, fungerer som et overlag slik det beskrives i teorikapittelet [29]. Dermed vil det ha konsekvenser for både politikk, økonomi og teknologi [29]. Det viser seg også i saken mellom Narvik kommune, Google og Datatilsynet. Det ble fra Datatilsynets side startet det en diskusjon om lagring av data i internett. Resultatet ble en avklaring av hvilke regler som ligger til grunn for lagring av data i skyen, og hvilke krav som skal stilles leverandører som lagrer data [49]. Videre måtte antageligvis både Google og Narvik kommune gjøre endringer som medførte såvel økonomiske og teknologiske endringer, i tillegg til å endre avtaleverk seg i mellom.

7.6.1 Oppsummering

Fra det overstående er det rimelig å argumentere for at tjenester som CDN kan påvirke internettets regulering. I det nevnte eksempelet førte bruken av CDN til at Datatilsynet kom på banen og regulerte forhold som angår lagring av innhold i internett.

7.7 Nettnøytralitet

Overlagsnettverk kan ha både teknologiske, økonomiske og politiske konsekvenser [29]. I debatten om nettnøytralitet er perspektivene og argumentene i stor grad å finne innenfor de samme kategoriene. Av den grunn vil spørsmålet om hvorvidt CDN påvirker internettets nettnøytralitet være delt inn i et teknologisk, økonomisk og politisk perspektiv.

7.7.1 Teknologisk nettnøytralitet

Den tekniske siden anses å være viktig i debatten om nettnøytralitet generellt og i spørsmålet om CDN spesielt. Det føres ulike argumenter som angår ulike teknologier og løsninger. Et av de argumenter som bæres i debatten er at nettnøytralitet er et designprinsipp tuftet på ende-til-ende-prinsippet [77, 80, 135]. Det hevdes at prinsippet er en viktig del av arkitekturen i internett, og at nettopp denne arkitekturen gir et nøytralt nettverk [77]. På bakgrunn av dette bør det derfor være mulig å diskutere hvorvidt CDN og nettnøytralitet fra et teknologisk perspektiv. Ende-til-ende-prinsippet er definert av Saltzer, Reed og Clark, og gir føringer på hvor funksjonaliteten i et nettverk skal ligge. Et nettverk som er mindre spesialisert, er mer verdifullt, fordi det

åpner for alle typer kommunikasjon, applikasjoner og informasjon [135]. For å gå videre i diskusjonen er det da nærliggende å se på om et CDN er i tråd med ende-til-ende-prinsippet. Akamai sitt nettverk er beskrevet i flere artikler [40, 98]. Artiklene gir en grundig gjennomgang av Akamai sin distribuerte plattform, hvordan denne opereres og hvilke teknikker som de benytter for å levere innholdet til sluttbrukeren. En av nøkkelkomponentene i denne plattformen er en utvidet bruk av DNS [5]. Navnetjenerene til Akamai delegerer en node med innhold til brukeren, basert på lokasjon, topografi i nettet og status på såvel node som nettverk. Akamai sin bruk av DNS er (som nevnt i seksjon 7.3) er kritisert fordi de ikke benyttet DNS på den tiltenkte måten [128]. Det er imidlertid ikke anført argumenter som går på at Akamai bryter nettnøytraliteten ved denne bruken. Det er imidlertid argumentert for at bruken av DNS kan oppfattes som å flytte intelligens inn i nettverket [73]. Det hevdes at dette beror på en mistforståelse om hva notasjonen «content delivery network» betyr. Ordet *nettverk* må sees på i en bredere kontekst der en gruppe maskiner virker sammen for å oppnå et felles mål [73, s. 10]. I lys av teorien om overlagsnettverk kan CDN likevel være problematisk, ettersom det fremstår som en infrastruktur [73]. For å rydde i forståelsen av CDN, kan man se nærmere på hvor nettnøytraliteten har sitt virkningsområde:

«The end-to-end principle requires that a network's routers give equal treatment to all packets that traverse the network.» [73, s. 10]

Det hevdes altså at prinsippet handler om adferden til ruterne som flytter pakker rundt i nettverket. Videre argumenteres det for at nettnøytralitet ikke handler om adferden til nodene i nettverkets ytterkant, ettersom disse ikke ruter noens pakker [73]. Akamai sitt nettverk består av en rekke noder i internettets ytterkant. Således er deres nettverk i tråd med ende-til-ende-prinsippet, i lys av som beskrives i det overstående. Det argumenteres videre for at det ikke er nødvendig med noen form for endring av internettets infrastruktur for å få Akamai sitt system til å virke [73, s. 10]. Av det overstående kan man dermed argumentere for at Akamai og andre CDN er nøytrale i sin natur, gitt at de befinner seg i nettverkets ytterkant, og ikke behøver endring av internettets infrastruktur⁷.

Likevel hevder enkelte at CDN kan sees på som en prioritering av trafikken, ettersom den opplevde kvaliteten til brukeren blir bedre hvis CDN benyttes [142]. Dette argumentet er imidlertid problematisk av flere

⁷Det er imidlertid en debatt hvorvidt ulike CDN bryter nettnøytraliteten hvis knytningen mellom tjenesteleverandør og CDN blir for sterk. Det som anføres er blant annet at dette fører til fordeler for store nettverkseiere [70]. Dessuten kan det være et problem med gjennomsiktighet rundt avtaler [15]. Dette er imidlertid en annen debatt som vi ikke skal gå inn på her.

årsaker. For det første er ikke brukerens opplevde kvalitet en reel parameter i nettnøytraliteten. Prinsippet handler om at trafikken ikke skal prioriteres eller degraderes på bekostning av sluttbrukeren. En slik prioritering skjer i nettverket, og ikke hos brukeren. For det andre er ikke CDN en de-facto prioritering av trafikk ettersom bruken ikke medfører noen endring av selve infrastrukturen i internett. Det er ingen rutere som må konfigureres anderledes [73], og det er ei heller noen tjenestetilbydere som begrenser trafikken.

7.7.2 Oppsummering

En samlet vurdering av det overstående gir en indikasjon på at CDN ikke påvirker internettets nettnøytralitet fra et teknologisk perspektiv. CDN er i tråd med ende-til-ende-prinsippet, de er deltagere i internett som vanlige tilbydere av innhold, og det behøves ingen endring av internettets infrastruktur for å få systemene til å virke.

7.7.3 Økonomisk nettnøytralitet

Debatten om nettnøytralitet handler ikke bare om teknologi. Den handler også om økonomi. Den enorme veksten i trafikk i internett har økonomiske konsekvenser. Tjenestetilbyderne må stadig oppgradere kapasiteten for å henge med i de kravene til båndbredde som såvel brukere og innholdsleverandører stiller. Det koster følgelig penger. Samtidig presses prisene på aksess ned. Den enorme veksten blir derfor grunnlag for en prioritering, degradering eller blokkering av trafikk. I følge flere [77, 80] startet også debatten om nettnøytralitet nettopp med frykt for at tjenesteleverandører skal styre trafikken i eget nettverk. Derav kom også forkjemperne for en lovregulering av et nøytralt nettverk [135].

Det som blant annet anføres i debatten om nettnøytralitet fra et økonomisk synspunkt, er hvorvidt det skal koste noe å tilby innhold. Her argumenterer man for at nettverket må være åpent for alle. Det skal ikke koste noe å tilby innhold. Formålet med et slikt åpent og fritt nettverk er innovasjon - at alle skal ha mulighet til å tilby både applikasjoner og innhold av ulikt slag [77]. Når da Akamai tar betalt for å distribuere innhold på internett, er ikke det et brudd med nettnøytraliteten? Enkelte hevder at Akamai bryter nettnøytraliteten, nettopp som en følge av deres kommersielle entitet [142]. Dette er en problematisk slutning, fordi den ikke tar høyde for hva som da ellers blir et brudd med nettnøytraliteten. Hvis en følger logikken i argumentet kan alle tilbydere av lagring på nettet teknisk sett bryte nettnøytraliteten fordi de er kommersielle aktører. Det vil jeg argumentere

for at er feil. Som beskrevet i seksjonen over bryter ikke et CDN noen teknisk nettnøytralitet. Dessuten er det relevant å se på alternativet. Hvis en innholdsleverandør skal vedlikeholde en stor infrastruktur for å selv levere innhold, er dette meget kostbart og lite effektivt [98]. Dermed kan det være bedre at jobben gjøres av en tredjepart. I denne oppgavens datamateriale er det lite som tyder på at innholdsleverandørene har noe i mot tilstedeværelsen av CDN. Det er heller ingen av de undersøkte aktørene som har anført at CDN bryter med nettnøytraliteten. Akamai argumenterer for at det heller ikke er mulig å levere innhold til et stort publikum uten å benytte CDN [98]. Selv om de i høyeste grad er part i det argumentet, har også andre argumentert for det samme, også i denne oppgavens datamateriale. Videre er det slik at CDN ikke er en lukket tjeneste som kun er åpen for de største aktørene på levering av innhold. De sperrer med andre ord ingen ute [8].

Akamai helps even the smallest entrepreneurs to expand their presence on the Web by offering a better and faster customer experience. Akamai enables entities of all sizes to scale the capacity of their online operations without the need to invest in a costly hardware build-out.»
[8, s. 4]

7.7.4 Oppsummering

Det faktum at Akamai er åpent for alle, levering av innhold uten CDN er lite skalerbart og at de ikke faktisk prioriterer trafikk på noe teknologisk vis mener jeg er gode argumenter for å si at CDN ikke påvirker internettets nettnøytralitet fra en økonomisk side. Når det er sagt, kan det likevel problematiseres hvilken posisjon CDN har i internett i fremtiden. Hvis CDN fremstår som en infrastruktur slik det beskrives i teorien om overlagsnettverk, kan det være grunn til å problematisere dette ytterligere.

7.7.5 Politisk nettnøytralitet

Begrepet nettnøytralitet har ulik betydning for ulike parter [24]. Jeg vil hevde at det at ulike parter har ulik forståelse av begrepet, gjør debatten mer polarisert. Dessuten anføres ofte argumenter som er gyldige innenfor sin kontekst [26]. De som er for en lovregulering av nettnøytralitet, anfører at dette er viktig for videre innovasjon, ettersom et det åpner opp for alle typer innhold og alle typer applikasjoner [77, 80, 135]. De som er mot en lovregulering, anfører at tjenestetilbyderne må få eie og styre sitt eget nettverk etter økonomiske vurderinger. Det er den eneste måten å ha nok penger til videre innovasjon og utvikling i nettverket. Jeg vil som Clark [26] hevde at begge argumenter kan være gyldige innenfor sin kontekst.

Uavhengig av argumenter er nettnøytralitet et designprinsipp for et nettverk [136]. Det henvises da til den første artikkelen om ende-til-ende-prinsippet, som ble skrevet av Saltzer, Reed og Clark. Der beskrives et nettverk som mest verdifullt når det er mindre spesialisert, når funksjonene ligger i endepunktene av nettverket [111]. Hensikten er altså at nettverket ikke skal begrense hvordan applikasjoner og informasjon som strømmer igjennom. Kjernen i det som argumenteres er at nettverket skal være åpent for alle typer innhold, og alle typer applikasjoner. Da oppnår man et nettverk som maksimerer det samfunnsøkonomiske overskuddet, ved å fasilitere for et bredt utvalg av samhandling mellom mennesker [135, 137]. Videre har internettets ende-til-ende-prinsipp har fasilitert for at et ubegrenset antall applikasjoner kan eksistere. Samtidig har det gitt sosiale effekter som innovasjon og konkurranse [77, 78, 80]. Hvis et nettverk er nøytralt, åpner det dermed for full utnyttelse av det potensialet som er mulig å fremskaffe.

En av de applikasjonene som har oppstått som en direkte følge av et åpent ende-til-ende-nettverk er CDN. Hvis ikke nettverket hadde vært åpent for nye innovasjoner, hadde det heller ikke vært mulig å etablere et CDN. I begynnelsen kunne CDN sees på som en utvidet bruk av vanlig lagring av nettsider. Det i seg selv bør ikke være problematisk. Selskaper som tar betalt for å lagre innhold har eksistert siden World Wide Web sin begynnelse. Da Akamai åpnet sitt nettverk på slutten av nittitallet, var det for å løse et problem det daværende internett hadde med kø. Først ønsket Akamai å selge produktet til ulike ISP-er, men de ønsket ikke å benytte seg av et CDN. Ettertiden har kanskje vist at det var en dårlig avgjørelse. Innholdsleverandørene bet i alle fall på, og klarte med det å levere innhold til en stadig voksende brukermasse. Allerede i 2001 ble det satt rekord i levering av samtidige strømmer: 35.000 brukere så Steve Jobs live Macworld Expo. Det tilsvarte 5.3 Gbps i båndbredde. I 2009 ble en ny rekord satt under innsettelsen av president Obama. Hele 7 millioner samtidige strømmer, og 2 Tbps i båndbredde [98, s. 8]. I dag står de ulike CDN-leverandørene for store deler av trafikken som går i internett [6, 70]. De benytter proprietære teknologier, patenter og løsninger som tilbys de som har ønske om å spre innhold til et større publikum, mot betaling. I mange sine øyne vil det da være en kommersiell entitet. Som nevnt i forrige seksjon er ikke det i seg selv et gyldig argument for at CDN bryter med nettnøytraliteten. Videre er ikke CDN å anse som en faktisk prioritering i nettet fra en teknologisk synsvinkel. De som kjemper for et åpent og fritt internett kan dermed komme i skade for å ramme CDN, ettersom CDN fremstår som kommersielle og en aktør som prioriterer trafikk.

«The differences in topology means that traffic that is otherwise similar may travel through the network at different speeds, with different costs, and with different levels of quality of service.» [141, s. 90]

Det problematiske med CDN, er at innholdsleverandøren kan kjøpe seg til bedre kvalitet. Desto mer penger tilgjengelig, desto mer kapasitet kan kjøpes. Det gjør at innholdsleverandører med god kapital får konkurrere på andre vilkår, i alle fall ideologisk sett. Sett bort i fra nevnte argument om CDN som kommersiell entitet, er det få om noen av forkjemperne for en lovregulering av nettnøytralitet som har skrevet noe særlig om CDN. Det eneste som er å finne fra disse er følgende kommentar fra Tim Wu:

«in our view, they may be palatable as long as payment is not demanded from content providers by Internet service providers as a requirement for service.» [72, s. 73]

Av den grunn er det rimelig å trekke konklusjonen at CDN ikke bryter med noen politisk nettnøytralitet. Det likevel viktig å være oppmerksom på at CDN i fremtiden kan fremstå som et kontrollpunkt i internett hvor innhold av ulike typer må igjennom et slikt system for å leveres. Da går eventuelt et CDN i mot den frihet som Berners-Lee opplevde da han kunne lansere verdensveven fra sitt kontor for tyve år siden [16].

7.7.6 Oppsummering

Sitatet ovenfor underbygger påstanden om at CDN ikke påvirker internettets nettnøytralitet, ei heller fra et politisk ståsted. Det er rimelig å anta at det hadde fremkommet hvis det fantes andre argumenter, debatten tatt i betraktning. Fra et politisk perspektiv er det likevel viktig å understreke at tjenester som CDN bør forstås i den grad de kan komme til å påvirke internett i fremtiden [29].

Konklusjon

«The future Internet architecture should preserve the features of best effort while offering differentiated QoS and various amounts of accessibility, reliability, feasibility, and security» [139, s. 56]

Forskningsspørsmålet i denne oppgaven var *hvordan CDN påvirker internettets egenskaper?* Det er et bredt utgangspunkt som jeg har forsøkt å belyse gjennom perspektivene *skalerbarhet, pålitelighet, sikkerhet, tilpasningsevne og regulering*. I tillegg har jeg stillt spørsmålet *hvordan CDN påvirker internettets nettnøytralitet?* Det har jeg belyst gjennom perspektivene teknologi, økonomi og politikk. Tilnærmingen har vært en fortolkende kasusstudie, som jeg har argumentert for at passer oppgavens kontekst. En rekke bøker, artikler, rapporter og andre kilder er gjennomgått, og flere intervjuer er gjennomført for å samle data til å belyse forskningsspørsmålet. Det er videre benyttet teori som beskriver arkitektur, ende-til-ende-prinsippet og nettnøytralitet.

Funnene i oppgaven indikerer at CDN har en viktig posisjon i dagens marked. Innholdsleverandørene er samstemte på viktigheten av effektiv levering, og nyttiggjør seg derfor av slike i utstrakt grad. Samtidig er flere av tjenesteleverandørene opptatt av å generere inntekter til videre utvikling av infrastrukturen, og derfor ikke udelt positive til bruken av CDN. Imidlertid ser de ut til å være positive hvis CDN eller innholdsleverandører betaler for trafikken de genererer.

I diskusjonen argumenterer jeg for at CDN påvirker internettets egenskaper i ulik grad. I lys av teori om overlagsnettverk [29], bedres internettets skalerbarhet, pålitelighet og sikkerhet ved at ulike CDN benyttes. Internett klarer ikke i seg selv å håndtere veksten i båndbreddeintensivt innhold. Det indikerer både tjenestetilbydere og innholdsleverandører. Ved å benytte CDN skalerer kapasiteten internett likevel, på tross av en begrenset infrastruktur. Det gjøres ved at innholdet slipper å traversere de samme strekningene unødvendig mange ganger. I stedet sendes trafikken til en node, en gang, for deretter å distribueres til mange brukere.

Internett er ikke pålitelig nok i seg selv. Ende-til-ende-prinsippet innebærer at funksjonalitet skal legges i endeterminale for å oppnå størst pålitelighet [111]. Et CDN er i tråd med ende-til-ende-prinsippet og kan med andre ord påvirke internettets pålitelighet. Samtidig er det en erkjennelse at CDN i økende grad presenterer et overlagsnettverk i internett. Dermed kan det oppfattes som at teknologien flyttes inn i nettverket hvis CDN sees fra et applikasjonsperspektiv [29]. Likevel argumenterer jeg for at CDN påvirker internettets pålitelighet ettersom trafikken flyter på mindre sårbar måte.

Internett har vært tuftet på ende-til-ende-prinsippet, og har ikke hatt noen grunnleggende sikkerhet i sin infrastruktur. Den har figurert i endeterminale. I internettets tidlige tidsalder var det nok og det var få om ingen, som ønsket å gjøre skade [18]. I dag er situasjonen en annen og sikkerhet er i høyeste grad et tema på dagsorden i internett [12, 28]. CDN-leverandørene har tatt sikkerhet på alvor og tilbyr i dag et spekter av tjenester for å beskytte deres kunders infrastruktur og sikre stabilitet og oppetid. På den måten bidrar CDN til å påvirke internettets sikkerhet til det bedre.

Tilpasningsevnen i internett har på tross av sin generative kapasitet, blitt kritisert for å være treg. For eksempel har IPv6 tatt alt for lang tid å innføre. CDN endrer dette ved å muliggjøre innføring av ny teknologi på en effektiv måte. Ved å tilby ulike programvare på en distribuert plattform, blir det enklere for innholdstilbydere å tilpasse seg fremtidens utvikling. Det gjelder ikke bare med IPv6, som er en protokoll som legger føringer for trafikk. Innpakning av innhold slik som flere CDN tilbyr, gjør det mulig å tilby ny teknologi i brukerens grensesnitt over natten. Dette er med å påvirke internettets tilpasningsevne.

Internett er i utgangspunktet et uregulert område, i den forstand at det ikke er noen som eier internett. Likevel eksisterer det både organisasjoner og jurisdiksjoner som ivaretar alt fra kontroll på domenenavn til regulering av ytringsfrihet. CDN som aktør er med å påvirke denne reguleringen av internett med sin tilstedeværelse og andres bruk av CDN. Det kan for eksempel være ved at en lovgiver engasjerer seg i en aktørs benyttelse av CDN, og legger føringer for hvordan data skal lagres i internett.

I det siste forskningsspørsmålet konkluderes det med at CDN ikke påvirker internettets nettnøytralitet hverken teknologisk, økonomisk eller politisk. Årsaken til dette er at CDN er et system som ligger i endeterminale i internett og prioriterer i så måte ikke trafikk i internettets infrastruktur, selv om det kan oppfattes slik. Videre er det flere aktører som er kommersielle i internett uten at de bryter nettnøytraliteten. Det blir dermed vanskelig å argumentere for at CDN bryter med nettnøytraliteten på bakgrunn av sin entitet som kommersiell aktør. Til sist er ikke CDN-leverandører ekskluderende,

men søker å tilby sine produkter til alle. Det er imidlertid verd å følge med på utviklingen i den grad CDN kan bli en de-facto infrastruktur i internett, som fremstår som et kontrollpunkt for levering av innhold i internett.

Med denne oppgaven håper jeg å ha gitt leseren et innblikk i hva et CDN er, hvilken posisjon det har i internett i dag og videre hvordan CDN påvirker internett i ulik grad. Jeg vil oppfordre til at CDN fortsetter å være tema for videre undersøkelser. Tjenester som CDN tilbyr er stadig mer viktig for effektiv innhold- og applikasjonslevering, og dermed også viktig for internettets videre utvikling.

Referanseliste

- [1] Janet Abbate. *Inventing the Internet*. Cambridge, Massachusetts og London, England: The MIT Press, 1999 (se s. 7).
- [2] Vijay Kumar Adhikari, Yang Guo, Fang Hao, Volker Hilt og Zhi-Li Zhang. «A tale of three CDNs: An active measurement study of Hulu and its CDNs». I: *IEEE Global Internet Symposium 2012*. Ieee, 2012, s. 7–12. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6193524 (se s. 14).
- [3] Vijay Kumar Adhikari og Sourabh Jain. «Vivisecting YouTube: An Active Measurement Study». I: *2012 Proceedings IEEE INFOCOM*. Mar. 2012, s. 2521–2525. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6195644 (se s. 14).
- [4] Vijay Kumar Adhikari, Matteo Varvello, Volker Hilt, Moritz Steiner og Zhi-Li Zhang. «Unreeling Netflix: Understanding and improving multi-CDN movie delivery». I: *2012 Proceedings IEEE INFOCOM*. 2012, s. 1620–1628. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6195531 (se s. 14, 62).
- [5] Mike Afergan, Joel Wein og Amy LaMeyer. «Experience with some Principles for Building an Internet-Scale Reliable System». I: *Worlds '05: Second Workshop on Real, Large Distributed Systems*. USENIX Association, 2005, s. 1–6. URL: http://static.usenix.org/event/worlds05/tech/full_papers/afergan/afergan.pdf (se s. 12–14, 71, 73–75, 77, 82).
- [6] Akamai. *Facts & Figures*. URL: http://www.akamai.com/html/about/facts_figures.html (Sist besøkt 20.05.2013) (se s. 51, 72, 85).
- [7] Akamai Technologies. *Akamai Global Traffic Management*. Whitepaper. 2009. URL: http://www.akamai.com/dl/feature_sheets/Akamai_Global_Traffic_Management.pdf (se s. 48, 49).
- [8] Akamai Technologies. *Comments of Akamai Technologies, INC.* GN Docket No. 09-191. WC Docket No. 07-52. Federal Communications Commission. 2007. URL: <http://apps.fcc.gov/ecfs/document/view?id=7020376186> (se s. 84).
- [9] Akamai Technologies. *IPv6: What the Transition Means for Content and Application Delivery (Revised May 2012)*. Whitepaper. 2012. URL: http://www.akamai.com/dl/whitepapers/IPv6_whitepaper.pdf (se s. 77, 78).
- [10] Akamai Technologies. *Kona Site Defender*. Kona Security Solutions: Product Bries. 2013. URL: http://www.akamai.com/dl/brochures/Product_Brief_Kona_Site_Defender.pdf (se s. 50, 76).
- [11] Richard Van Atta. «Fifty years of innovation and discovery». I: *50 Years of Bridging the Gap*. DARPA, 2008, s. 20–29. URL: <http://www.darpa.mil/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=2553> (se s. 7, 19).

- [12] David Belson. «4Th Quarter, 2012 Report». I: *The State of the Internet* 5.4 (2013), s. 1–48. URL: <http://www.akamai.com/stateoftheinternet/> (se s. 1, 50, 51, 76, 88).
- [13] Richard Bennett. *Designed for Change: End-to-End Arguments, Internet Innovation, and the Net Neutrality Debate*. The Information Technology and Innovation Foundation. 2009. URL: <http://www.itif.org/files/2009-designed-for-change.pdf> (se s. 21).
- [14] BEREC. *An assessment of IP interconnection in the context of Net Neutrality*. Berec report. BoR (12) 130. Body of European Regulators for Electronic Communication. 2012. URL: http://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/download/0/1130-an-assessment-of-ip-interconnection-in-t_0.pdf (se s. 24).
- [15] BEREC. *Summary of BEREC positions on net neutrality*. BoR (12) 146. Body of European Regulators for Electronic Communications. 2012. URL: http://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/opinions/1128-summary-of-berec-positions-on-net-neutrality (se s. 82).
- [16] Tim Berners-Lee. «Long Live The Web». I: *Scientific American* 303.December (2010), s. 80–85. URL: <http://www.nature.com/scientificamerican/journal/v303/n6/full/scientificamerican1210-80.html> (se s. 7, 27, 86).
- [17] Tim Berners-Lee. *Net Neutrality: This is serious*. 2006. URL: <http://dig.csail.mit.edu/breadcrumbs/node/144> (Sist besøkt 10.04.2013) (se s. 27).
- [18] Marjory S. Blumenthal og David D. Clark. «Rethinking the design of the Internet: the end-to-end arguments vs. the brave new world». I: *ACM Transactions on Internet Technology* 1.1 (2001), s. 70–109. URL: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=383034.383037> (se s. 19–22, 29, 76, 88).
- [19] Broadnet. *Fibercom - The business revolution*. URL: http://www.broadnet.no/no/om_oss/fibercom__the_business_revolution/ (Sist besøkt 20.05.2013) (se s. 55).
- [20] Rajkumar Buyya, Mukaddim Pathan og Athena Vakali. «Content Delivery Networks». I: *Lecture Notes In Electrical Engineering*; 9. Bd. 9. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008 (se s. 11).
- [21] Adam Candeub. «An End to End-to-End? A Review Essay of Barbara van Schewick's Internet Architecture and Innovation». I: *Federal Communications Law Journal* 64.661 (2012), s. 661–674 (se s. 18, 20, 40).
- [22] Vinton G. Cerf og Robert E. Kahn. «A Protocol for Packet Network Intercommunication». I: *IEEE Transactions on Communications* 22.5 (1974), s. 637–648. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=1092259> (se s. 19, 36).
- [23] David R. Choffnes, Aleksandar Kuzmanovic og Fabián E. Bustamante. «Drafting Behind Akamai: Inferring Network Conditions Based on CDN Redirections». I: *IEEE/ACM Transactions on Networking* 17.6 (2009), s. 1752–1765. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5238553 (se s. 13).
- [24] Rachelle B. Chong. «The 31 Flavors of Net Neutrality: A Policymaker's View». I: *Intellectual Property Law Bulletin* 12.147 (2008), s. 147–158 (se s. 24, 84).
- [25] Cisco. *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update , 2012 – 2017*. Whitepaper. 2013 (se s. 1).
- [26] David D. Clark. «Network Neutrality: Words of Power and 800-Pound Gorillas». I: *International Journal of Communication* 1 (2007), s. 701–708. URL: <http://www.ijoc.org/ojs/index.php/ijoc/article/viewFile/158/83> (se s. 2, 24, 29, 30, 84).
- [27] David D. Clark. «The Design Philosophy of the Darpa Internet Protocols». I: *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 18.4 (1988), s. 106–114. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=52336> (se s. 29).

- [28] David D. Clark og Marjory S. Blumenthal. «The End-to-End Argument and Application Design: The Role of Trust». I: *Federal Communications Law Journal* 63.2 (2011), s. 357–390. URL: <http://heinonline.org/HOL/Page?handle=hein.journals/fedcom63&collection=journals&index=journals/fedcom&id=367> (se s. 22–24, 29, 77, 88).
- [29] David D. Clark, Bill Lehr, Steve Bauer og Peyman Faratin. «Overlay Networks and the Future of the Internet». I: *Communications and Strategies* 63.3 (2006), s. 109–129. URL: http://www.idate.org/fic/revue_telech/653/CS63_CLARK_et_al.pdf (se s. 2, 4, 22, 23, 71, 79, 81, 86–88).
- [30] David D. Clark, William Lehr og Steven Bauer. «Interconnection in the Internet: the policy challenge». I: *The 39th Research Conference on Communication, Information and Internet Policy*. 2011, s. 1–24. URL: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1992641 (se s. 23).
- [31] David D. Clark, Karen Sollins, John Wroclawski og Ted Faber. «Addressing reality: an architectural response to real-world demands on the evolving Internet». I: *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2003 Workshops*. August. 2003, s. 247–257. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=944761> (se s. 29).
- [32] David D. Clark, John Wroclawski, Karen R. Sollins og Robert Braden. «Tussle in cyberspace: defining tomorrow's Internet». I: *IEEE/ACM Transactions on Networking* 13.3 (2005), s. 462–475. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=633059> (se s. 29, 76, 80).
- [33] Jeff Cohen, Thomas Repantis og S McDermott. «Keeping Track of 70, 000+Servers: The Akamai Query System». I: *Proceedings of the 24th international conference on Large installation system administration (LISA'10)*. 2010. URL: http://www.usenix.org/event/lisa10/tech/full_papers/Cohen.pdf (se s. 13).
- [34] Jon Crowcroft. «Net Neutrality: The Technical Side of the Debate ~ A White Paper». I: *International Journal of Communication* 1 (2007), s. 567–579. URL: <http://ijoc.org/ojs/index.php/ijoc/article/view/159/84> (se s. 40).
- [35] Dagens Næringsliv. *Telenor hisser på seg VG, NRK og Youtube*. 2011. URL: <http://www.dn.no/forsiden/etterBors/article2067200.ece> (Sist besøkt 10.05.2013) (se s. 58, 66).
- [36] Datatilsynet. *Datatilsynet åpner for bruk av nettskytjenester*. 2012. URL: <https://www.datatilsynet.no/Nyheter/2012/Bruk-av-nettskytjenester/?id=1541> (Sist besøkt 03.05.2013) (se s. 80, 81).
- [37] Paul A. David. *The Beginnings and Prospective Ending of "End-to-End": An Evolutionary Perspective on the Internet's Architecture*. SIEPR Discussion Paper No. 01-04. All Souls College, Oxford and Stanford University. 2001. URL: <http://siepr.stanford.edu/publicationsprofile/567> (se s. 3, 22).
- [38] Frank Denis. *Akamai vs public DNS servers*. 2012. URL: <http://00f.net/2012/02/22/akamai-vs-public-dns-servers/> (Sist besøkt 12.02.2013) (se s. 74, 75).
- [39] Daniel Eran Dilger. *Apple TV, iTunes downloads slowed by Google DNS [u]*. 2010. URL: http://appleinsider.com/articles/10/12/20/apple_tv_itunes_downloads_slowed_by_google_dns.html (Sist besøkt 20.04.2013) (se s. 74).
- [40] John Dilley, Bruce Maggs og Jay Parikh. «Globally distributed content delivery». I: *IEEE Internet Computing* 6.5 (2002), s. 50–58. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1036038 (se s. 2, 4, 11, 12, 14, 44, 45, 71–73, 82).
- [41] Julian Dunn og Blake Crosby. «What Your CDN Won't Tell You: Optimizing a News Website for Speed and Stability». I: *26th Large Installation System Administration Conference (LISA'12)*. USENIX Association, 2012, s. 195–201. URL: <https://www.usenix.org/system/files/conference/lisa12/lisa12-final-24.pdf> (se s. 13).

- [42] George Economou. «How Akamai Maps the Net: An Industry Perspective». I: *The Next Wave* 18.3 (2010), s. 8–15. URL: <http://www.nsa.gov/research/tnw/archive.shtml> (se s. 3, 12–14, 48, 73, 74).
- [43] Edgecast. *EdgeCast*. URL: <http://www.edgecast.com> (Sist besøkt 20.05.2013) (se s. 51).
- [44] Magnus Eidem. *Telenor-kunder klager på dårlig Netflix-kvalitet*. 2012. URL: <http://www.dagensit.no/article2515911.ece> (Sist besøkt 10.05.2013) (se s. 59, 63).
- [45] Peyman Faratin, David D. Clark, Steven Bauer, William Lehr, Patrick Gilmore og Arthur Berger. «The growing complexity of internet interconnection». I: *Communications and Strategies* 72 (2008), s. 51–71. URL: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1374285 (se s. 9).
- [46] Hans W. Friederiszick, Jakub Kaluzny, Simone Kohnz og Lars-Hendrik Röller. *Assessment of a sustainable internet model for the near future*. ESMT No. WP-11-01. 2011. URL: <http://www.esmt.org/en/293021> (se s. 9, 11).
- [47] Scott Gilbertson. *Google Blasts WSJ, Still 'Committed' to Net Neutrality*. 2008. URL: <http://www.wired.com/business/2008/12/google-blasts-w/> (Sist besøkt 10.05.2013) (se s. 66).
- [48] Hanne Kristine Hallingby, Gjermund Hartviksen, Silvia Elaluf-Calderwood og Carsten Sorensen. «Convergence in Action: a Case Study of the Norwegian Internet». I: *Proceedings of the 19th ITS Biennial Conference 2012*. 2012. URL: <http://eprints.lse.ac.uk/47306> (se s. 2, 9).
- [49] Ingvild Hanssen-Bauer. *Personvern ved bruk av skytjenester*. 2013. URL: <http://www.wr.no/Aktuelt/Personvern-ved-bruk-av-skytjenester> (Sist besøkt 03.05.2013) (se s. 81).
- [50] Markus Hofmann og Leland R. Beaumont. *Content Networking - Architecture, protocols, practice*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2005 (se s. 11).
- [51] Kartik Hosanagar. «CDN Pricing». I: *Content Delivery Networks*. Utg. av Rajkumar Buyya, Mukaddim Pathan og Athena Vakali. Springer-Verlag, 2008. Kap. 8, s. 211–224 (se s. 12).
- [52] IETF. *A Model for Content Internetworking (CDI)*. Informational. Request for comments: 3466. Internet Engineering Task Force. 2003. URL: <http://tools.ietf.org/html/rfc3466> (se s. 3).
- [53] IETF. *Architectural Principles of the Internet*. Informational. Request for Comments: 1958. Internet Engineering Task Force. 1996. URL: <http://tools.ietf.org/html/rfc1958> (se s. 19).
- [54] Internet Society. *IPv6 and Content Delivery Networks (CDNs)*. 2012. URL: <http://www.internetsociety.org/deploy360/resources/ipv6-and-content-delivery-networks-cdns/> (Sist besøkt 13.04.2013) (se s. 78, 79).
- [55] Jaeyeon Jung, B Krishnamurthy og Michael Rabinovich. «Flash crowds and denial of service attacks: Characterization and implications for CDNs and web sites». I: *WWW '02 Proceedings of the 11th international conference on World Wide Web*. Honolulu, Hawaii, USA: ACM, 2002, s. 293–304. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=511485> (se s. 11, 43).
- [56] Marius Jørgenrud. *Bruker nettskyen mot skadevare*. 2009. URL: <http://www.digi.no/822410/bruker-nettskyen-mot-skadevare> (se s. 76).
- [57] Marius Jørgenrud. *Narvik måsvare for bruk av Google Apps*. 2011. URL: <http://www.digi.no/873387/narvik-maa-svare-for-google-apps> (Sist besøkt 04.05.2013) (se s. 80).
- [58] David Karger, Eric Lehman, Tom Leighton, Rina Panigrahy, Matthew Levine og Daniel Lewin. «Consistent Hashing and Random Trees: Distributed Caching Protocols for Relieving Hot Spots on the World Wide Web». I: *STOC '97 Proceedings of the twenty-*

- ninth annual ACM symposium on Theory of computing. 1997. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=258660> (se s. 12).
- [59] Michael Kende. *How the Internet continues to sustain growth and innovation*. Report for the Internet Society. Ref: 35128-362. Analysys Mason Limited and The Internet Society. 2012. URL: <http://www.internetsociety.org/how-internet-continues-sustain-growth-and-innovation> (se s. 9).
 - [60] Varog Kervarec. *NRK har signert ny CDN-avtale*. 2011. URL: <http://www.insidetelecom.no/artikler/nrk-har-signert-ny-cdn-avtale/130381> (Sist besøkt 10.05.2013) (se s. 64).
 - [61] Varog Kervarec. *Tangerte nettets smertegrense*. 2011. URL: <http://www.insidetelecom.no/artikler/tangerte-nettets-smertegrense/130440> (Sist besøkt 10.05.2013) (se s. 56, 64).
 - [62] Heinz K. Klein og Michael D. Myers. «A Set of Principles for Conducting and Evaluating Interpretive Field Studies in Information Systems». I: *MISQ quarterly* 23.1 (1999), s. 67–93. URL: <http://www.jstor.org/stable/249410> (se s. 35, 36).
 - [63] Leonard Kleinrock. «An early history of the internet [History of Communications]». I: *IEEE Communications Magazine* 48.8 (2010), s. 26–36. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5534584 (se s. 7, 19).
 - [64] Leonard Kleinrock. «History of the Internet and its flexible future». I: *IEEE Wireless Communications* 15.1 (2008), s. 8–18. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4454699 (se s. 7).
 - [65] Forskningsetiske komiteer. *Internett*. 2009. URL: <http://www.etikkom.no/Forskningsetikk/Etiske-retningslinjer/Samfunnsvitenskap-jus-og-humaniora/Internett-forskning/> (Sist besøkt 03.04.2013) (se s. 41).
 - [66] Leonidas Kontothanassis og Ramesh Sitaraman. «A transport layer for live streaming in a content delivery network». I: *Proceedings of the IEEE*. 2004, s. 1–11. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1323289 (se s. 13, 14).
 - [67] Balachander Krishnamurthy, Craig Wills og Yin Zhang. «On the use and performance of content distribution networks». I: *IMW '01 Proceedings of the 1st ACM SIGCOMM Workshop on Internet Measurement*. New York, USA: ACM Press, 2001, s. 169–182. URL: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=505202.505224> (se s. 13).
 - [68] S. Shunmuga Krishnan og Ramesh K. Sitaraman. «Video Stream Quality Impacts Viewer Behavior: Inferring Causality Using Quasi-Experimental Designs». I: *IMC '12 Proceedings of the 2012 ACM conference on Internet measurement conference*. Boston, Massachusetts, USA, 2012, s. 211–224. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2398799> (se s. 14, 49).
 - [69] M. Frans Kaashoek og Fred Douglis. «Scalable Internet Services». I: *IEEE Internet Computing* 5.4 (2001), s. 36–37. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=939448 (se s. 11).
 - [70] Craig Labovitz, Scott Iekel-Johnson, Danny McPherson, Jon Oberheide og Farnam Jahanian. «Internet inter-domain traffic». I: *ACM SIGCOMM Computer Communication Review - SIGCOMM '10* 40.4 (2010), s. 75–86. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1851194> (se s. 2, 4, 9, 14, 70, 72, 75, 82, 85).
 - [71] Ryan Lawler. *When Akamai goes down, it takes the Internet with it*. 2011. URL: <http://gigaom.com/2011/08/08/akamai-dns-issue/> (Sist besøkt 03.04.2013) (se s. 73).
 - [72] Robin S Lee og Tim Wu. «Subsidizing Creativity through Network Design: Zero-Pricing and Net Neutrality». I: *Journal of Economic Perspectives* 23.3 (2009), s. 61–76. URL: <http://pubs.aeaweb.org/doi/abs/10.1257/jep.23.3.61> (se s. 86).

- [73] Timothy B. Lee. «The Durable Internet Preserving Network Neutrality without Regulation». I: *Cato Policy Analysis Series* 626 (2009). URL: <http://www.cato.org/sites/cato.org/files/pubs/pdf/pa-626.pdf> (se s. 2, 24, 28, 29, 73, 82, 83).
- [74] Tom Leighton. «Improving Performance on the Internet». I: *Communications of the ACM* 52.2 (2009), s. 44–51. URL: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1466443.1466449> (se s. 12, 74).
- [75] Tom Leighton. *The Akamai Story: From Theory to Practice*. 2004. URL: <http://video.mit.edu/watch/the-akamai-story-from-theory-to-practice-9092/> (Sist besøkt 01.02.2013) (se s. 44, 47).
- [76] Barry M. Leiner, Vinton G. Cerf, David D. Clark, Robert E. Kahn, Leonard Kleinrock, Daniel C. Lynch, Jon Postel, Larry G. Roberts og Stephen Wolff. *A brief history of the internet*. 2009. URL: <http://www.internetsociety.org/internet/what-internet/history-internet/brief-history-internet> (se s. 3, 7, 19).
- [77] Mark A. Lemley og Lawrence Lessig. «The End of End-To-End: Preserving the Architecture of the Internet in the Broadband Era». 2000. URL: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=247737 (se s. 1, 17, 19, 20, 25, 26, 28, 81, 83–85).
- [78] Lawrence Lessig. *Code version 2.0*. New York: Basic Books, 2006 (se s. 17–19, 69, 77, 85).
- [79] Lawrence Lessig. «In support of network neutrality». I: *I/S: A Journal of Law and Policy for the Information Society* 3.1 (2007) (se s. 17, 26, 29).
- [80] Lawrence Lessig. *It's the Architecture, Mr. Chairman*. 1999. URL: <http://cyber.law.harvard.edu/works/lessig/cable/Cable.html> (Sist besøkt 13.04.2013) (se s. 1, 17, 18, 26, 81, 83–85).
- [81] Level 3. *Level 3*. URL: <http://www.level3.com> (Sist besøkt 20.05.2013) (se s. 52).
- [82] Level 3 Communications. *Managed DDoS Protection*. Whitepaper. 2009. URL: <http://www.level3.com/en/products-and-services/cyber-security/ddos-attack-protection-mitigation/> (se s. 50).
- [83] Jonathan Liebenau, Silvia Monica Elaluf-Calderwood og Patrik Karrberg. «Strategic Challenges for European Telecom Operators: The Consequences of Imbalances in Internet Traffic». I: *Journal of Information Policy* 2 (2012), s. 248–272. URL: <http://jip.vmhost.psu.edu/ojs/index.php/jip/article/viewArticle/96> (se s. 9, 10).
- [84] Limelight Networks. *Limelight Deploy: Dealing With (and Capitalizing on) the Explosive Growth of IP-based Content*. Whitepaper. 2011 (se s. 51).
- [85] Limelight Networks. *Limelight Networks*. URL: <http://www.limelight.com/> (Sist besøkt 20.05.2013) (se s. 51).
- [86] Stephen Lukasik. «Why the Arpanet Was Built». I: *IEEE Annals of the History of Computing* 33.3 (2011), s. 4–21. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5432117> (se s. 7).
- [87] Eugene Zhang March. *Intelligent User Mapping in the Cloud*. 2013. URL: <https://blogs.akamai.com/2013/03/intelligent-user-mapping-in-the-cloud.html> (Sist besøkt 17.04.2013) (se s. 74, 75).
- [88] J. Scott Marcus og Monti Alessandro. *Network operators and content providers: Who bears the cost?* WIK-Consult GmbH. 2011. URL: <http://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm?abstractid=1926768> (se s. 11).
- [89] Tim Moors. «A critical review of “End-to-end arguments in system design”». I: *Communications, 2002. ICC 2002. IEEE International Conference on*. Bd. 2. 2002. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=997043> (se s. 20).

- [90] Michael D. Myers. «Qualitative Research in Information Systems». I: *MIS Quarterly* 21.2 (1997), s. 241–242. URL: <http://www.qual.auckland.ac.nz> (se s. 33, 34).
- [91] Ole-Harald Nafstad. *Advarer mot åslippe CDN-ene inn i nettet*. 2010. URL: <http://www.insidetelecom.no/artikler/advarer-mot-a-slippe-cdn-ene-inn-i-nettet/128452> (Sist besøkt 10.05.2013) (se s. 57).
- [92] Ole-Harald Nafstad. *Frykter ikke nettsammenbrudd*. 2012. URL: <http://www.insidetelecom.no/artikler/frykter-ikke-nettsammenbrudd/129912> (Sist besøkt 10.05.2013) (se s. 63).
- [93] Ole-Harald Nafstad. *Klarer ikke konkurrere mot CDN-ene*. 2010. URL: <http://www.insidetelecom.no/artikler/klar-ikke-konkurrere-mot-cdn-ene/128453> (Sist besøkt 10.05.2013) (se s. 65, 66).
- [94] Ole-Harald Nafstad. *Klar til åslippe inn Netflix*. 2013. URL: <http://www.insidetelecom.no/artikler/klar-til-a-slippe-inn-netflix/130083> (Sist besøkt 10.05.2013) (se s. 58).
- [95] Ole-Harald Nafstad. *Knusende bredbåndsraking for Telenor*. 2012. URL: <http://www.insidetelecom.no/artikler/knusende-bredbandsranking-for-telenor/130042> (Sist besøkt 10.05.2013) (se s. 59).
- [96] Ole-Harald Nafstad. *Mange grunner til at Telenor skårer dårlig*. 2012. URL: <http://www.insidetelecom.no/artikler/mange-grunner-til-at-telenor-skarer-darlig/130041> (Sist besøkt 10.05.2013) (se s. 63).
- [97] Ole-Harald Nafstad. *Takler tre OL på én gang*. 2011. URL: <http://www.insidetelecom.no/artikler/takler-tre-ol-pa-en-gang/128749> (Sist besøkt 10.05.2013) (se s. 58, 59).
- [98] Erik Nygren, Ramesh K. Sitaraman og Jennifer Sun. «The Akamai network». I: *ACM SIGOPS Operating Systems Review* 44.3 (2010), s. 2. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1842733.1842736> (se s. 1, 3, 4, 11, 12, 14, 45–47, 71–74, 77, 78, 82, 84, 85).
- [99] Ida Oftebro. *Vil du ha kvalitet, må du betale*. 2011. URL: <http://www.insidetelecom.no/artikler/vil-du-ha-kvalitet-ma-du-betale/128831> (Sist besøkt 10.05.2013) (se s. 55, 56).
- [100] Wanda J. Orlikowski og Jack J. Baroudi. «Studying Information Technology in Organizations: Research Approaches and Assumptions». I: *Information Systems Research* 2.1 (1991), s. 1–28. URL: <http://isr.journal.informs.org/cgi/doi/10.1287/isre.2.1.1> (se s. 33, 34).
- [101] Mark Page og Christophe Firth. *Internet value chain economics*. AT Kearney report. 2010. URL: http://www.atkearney.com/paper/-/asset_publisher/dVxv4Hz2h8bS/content/internet-value-chain-economics/10192 (se s. 9).
- [102] Mark Page, Luca Rossi og Colin Rand. *A Viable Future Model for the Internet*. AT Kearney report. 2010. URL: http://www.atkearney.com/paper/-/asset_publisher/dVxv4Hz2h8bS/content/a-viable-future-model-for-the-internet/10192 (se s. 9, 11).
- [103] George Pallis og Athena Vakali. «Insight and perspectives for content delivery networks». I: *Communications of the ACM* 49.1 (2006), s. 101–106. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1107462> (se s. 12).
- [104] Trimintzios Panagiotis, Chris Hall, Richard Clayton, Ross Anderson og Evangelos Ouzounis. *Inter X: Resilience of the Internet Interconnection Ecosystem*. Full Report - April 2011. The European Network and Information Security Agency (ENISA). 2011. URL: <http://www.enisa.europa.eu/activities/Resilience-and-CIIP/critical-infrastructure-and-services/inter-x/interx/report> (se s. 8, 9, 14, 72, 73, 75).
- [105] Nancy Paterson. «Walled Gardens: the New Shape of the Public Internet». I: *Proceedings of the 2012 iConference*. Toronto, ON, Canada, 2012. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2132189> (se s. 9).

- [106] Mukaddim Pathan, Rajkumar Buyya og Athena Vakali. «Content Delivery Networks: State of the Art, Insights, and Imperatives». I: *Content Delivery Networks*. Utg. av Rajkumar Buyya, Mukaddim Pathan og Athena Vakali. Springer-Verlag, 2008. Kap. 1, s. 3–32 (se s. 11, 45, 46).
- [107] Karine Perset og Sam Paltridge. *The Future of The Internet Economy*. Policy Brief. Organisation for Economic Co-Operation and Development. 2008. URL: <http://www.oecd.org/sti/ieconomy/40789235.pdf> (se s. 11).
- [108] Ingmar Poesse, Benjamin Frank, Bernhard Ager, Georgios Smaragdakis, Steve Uhlig og Anja Feldmann. «Improving Content Delivery with PaDIS». I: *IEEE Internet Computing* 16.3 (2012), s. 46–52. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5999637> (se s. 13).
- [109] Dan Rayburn. *Comparing CDN Performance: Amazon CloudFront's Last Mile Testing Results*. Tek. rap. Frost Sullivan, 2012 (se s. 50).
- [110] Thomas Repantis, Jeff Cohen, Scott Smith og Joel Wein. «Scaling a monitoring infrastructure for the Akamai network». I: *ACM SIGOPS Operating Systems Review* 44.3 (2010), s. 20. URL: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1842733.1842737> (se s. 13, 71, 75).
- [111] Jerome H. Saltzer, David P. Reed og David D. Clark. «End-to-end arguments in system design». I: *ACM Transactions on Computer Systems* 2.4 (nov. 1984), s. 277–288. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=357402> (se s. 19–21, 71, 73, 81, 85, 88).
- [112] Sandvine. *Global Internet Phenomena Spotlight: Netflix Rising*. 2011 (se s. 62).
- [113] Barbara Van Schewick. *Internet Architecture and Innovation*. Cambridge, Massachusetts og London, England: The MIT Press, 2010 (se s. 40).
- [114] G. Siganos, M. Faloutsos og S. Krishnamurthy. «Lord of the Links: A Framework for Discovering Missing Links in the Internet Topology». I: *IEEE/ACM Transactions on Networking* 17.2 (apr. 2009), s. 391–404. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=4569867> (se s. 9).
- [115] Oliver Spatscheck og Jacobus Van Der Merwe. «The Unpublicized Sea Change in the Internet». I: *IEEE Internet Computing* 15.1 (2011), s. 92–95. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5676173 (se s. 9, 14).
- [116] Rolv-Erik Spilling. *Trafikkork påInternett*. 2011. URL: <http://www.aftenposten.no/meninger/kronikker/article4119742.ece> (Sist besøkt 03.05.2013) (se s. 1).
- [117] AJ Su og Aleksandar Kuzmanovic. «Thinning Akamai». I: *Proceedings of the 8th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*. 2008, s. 29–41. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1452525> (se s. 76).
- [118] Ao-Jan Su, David R. Choffnes, Aleksandar Kuzmanovic og Fabián E. Bustamante. «Drafting behind Akamai (travelocity-based detouring)». I: *SIGCOMM '06 Proceedings of the 2006 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*. Sep. 2006, s. 435–446. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1159962> (se s. 13).
- [119] Post- og teletilsynet. *Nettnøytralitet*. Retningslinjer for nøytralitet påInternett. 2009. URL: http://www.npt.no/teknisk/internett/nettnoytralitet/nettnoytralitet/_attachment/972?_ts=13837548973 (se s. 24).
- [120] Post- og teletilsynet. *Om nettnøytralitet*. Prinsipper for nøytralitet påInternett. 2009. URL: http://www.npt.no/teknisk/internett/nettnoytralitet/nettnoytralitet/_attachment/970?_ts=13837541127 (se s. 24).

- [121] The Boston Consulting Group. *The new rules of openness*. Liberty Global Policy Series. 2011 (se s. 9, 70).
- [122] The Federal Communications Commission. *In the Matter of Preserving the Open Internet Broadband Industry Practices*. FCC 10-201. GN Docket No. 09-191. WC Docket No. 07-52. 2010 (se s. 26).
- [123] Sipat Triukose, Zhihua Wen og Michael Rabinovich. «Content Delivery Networks: How Big is Big Enough?» I: *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review* 37.2 (2009), s. 59–60. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1639585> (se s. 13, 14).
- [124] Sipat Triukose, Zhihua Wen og Michael Rabinovich. «Measuring a commercial content delivery network». I: *WWW '11 Proceedings of the 20th international conference on World wide web*. 2011, s. 467–476. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1963472> (se s. 13, 14).
- [125] Athena Vakali og George Pallis. «Content Delivery Networks: Status and Trends». I: *IEEE Internet Computing* 7.6 (2003), s. 68–74. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1250586&tag=1 (se s. 11).
- [126] Odd Richard Valmøt. *Telenor: – Netflix har vikarierende motiver*. 2012. URL: <http://www.tu.no/it/2012/12/19/telenor--netflix-har-vikarierende-motiver> (Sist besøkt 10.05.2013) (se s. 59, 60).
- [127] Paul Vixie. «DNS Complexity». I: *Queue* 5.3 (2007), s. 24–29. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1242499> (se s. 73–75).
- [128] Paul Vixie. «What DNS Is Not». I: *Queue* 7.10 (2009). URL: <http://queue.acm.org/detail.cfm?id=1647302> (se s. 73–75, 82).
- [129] David Vorhaus. *Yankee Group Anywhere Scorecard: Content Delivery Networks, 2009*. Anywhere Scorecard Report. Yankee Group. 2009. URL: <http://www.yankeegroup.com/ResearchDocument.do?id=51906> (se s. 51).
- [130] W3C. *Help and FAQ - About W3C*. 2013. URL: <http://www.w3.org/Help/> (Sist besøkt 14.04.2013) (se s. 27).
- [131] Geoff Walsham. «Doing interpretive research». I: *European Journal of Information Systems* 15.3 (2006), s. 320–330. URL: <http://www.palgrave-journals.com/doi/10.1057/palgrave.ejis.3000589> (se s. 34).
- [132] Geoff Walsham. *Interpreting information systems in organizations*. New York, USA: John Wiley og Sons, Inc, 1993. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=583196> (se s. 17, 34).
- [133] Geoff Walsham. «Interpretive case studies in IS research: Nature and Method». I: *Qualitative research in information systems. A Reader*. Utg. av Michael D. Myers og David Avison. Sage Publications Ltd, 2002. Kap. 6, s. 101–114 (se s. 33).
- [134] Dennis Weller og Bill Woodcock. *Internet Traffic Exchange: Market Developments and Policy Challenges*. No 207. OECD Publishing. 2013. URL: http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/internet-traffic-exchange_5k918gpt130q-en (se s. 1, 2, 8, 9, 14, 54).
- [135] Tim Wu. «Network Neutrality, Broadband Discrimination». I: *Journal of Telecommunications and high Technology Law* 2 (2003), s. 141. URL: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=388863 (se s. 2, 25, 81–85).
- [136] Tim Wu. *Network Neutrality FAQ*. 2013. URL: http://www.timwu.org/network_neutrality.html (Sist besøkt 02.05.2013) (se s. 1, 24–26, 40, 85).
- [137] Tim Wu. «The broadband debate: A user's guide». I: *Journal of Telecommunications and high Technology Law* 3.69 (2004), s. 69–96. URL: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=557330 (se s. 25, 85).

- [138] Tim Wu og Lawrence Lessig. *Ex Parte Submission in CS Docket No. 02-52*. 2003. URL: http://www.timwu.org/wu_lessig_fcc.pdf (se s. 2).
- [139] Hao Yin, Xuening Liu, Geyong Min og Chuang Lin. «Content Delivery Networks: A Bridge between Emerging Applications and Future IP Networks». I: *IEEE Network* 24.4 (2010), s. 52–56. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5510919 (se s. 11, 71, 87).
- [140] Robert K. Yin. *Case Study Research: Design and Methods*. Sage Publications, Inc, 2009 (se s. 34).
- [141] Christopher S. Yoo. «Innovations In The Internets Architecture That Challenge The Status Quo». I: *Journal of Telecommunications and high Technology Law* 8 (2010), s. 79–100. URL: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1472074 (se s. 28, 86).
- [142] Christopher S. Yoo. «Network Neutrality and the Economics of Congestion». I: *The Georgetown Law Journal* 94 (2006), s. 1847–1908. URL: papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=825669 (se s. 2, 28, 30, 82, 83).
- [143] Christopher S. Yoo. «Would mandating broadband network neutrality help or hurt competition? A comment on the end-to-end debate». I: *Journal of Telecommunications and high Technology Law* 3 (2004), s. 23–68. URL: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=495502 (se s. 28).
- [144] Norihiko Yoshida. «Dynamic CDN Against Flash Crowds». I: *Content Delivery Networks*. Utg. av Rajkumar Buyya, Mukaddim Pathan og Athena Vakali. Springer-Verlag, 2008. Kap. 11 (se s. 11).
- [145] Minlan Yu, Wenjie Jiang, Haoyuan Li og Ion Stoica. «Tradeoffs in CDN designs for throughput oriented traffic». I: *CoNEXT '12 Proceedings of the 8th international conference on Emerging networking experiments and technologies*. 2012. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2413176.2413194> (se s. 13, 33).
- [146] Espen Zachariassen. *Skal kapre 130 millioner kunder*. 2011. URL: <http://www.tu.no/it/2011/09/30/skal-kapre-130-milljoner-kunder> (Sist besøkt 10.05.2013) (se s. 61, 62).
- [147] Jonathan L Zittrain. *The Future of the Internet and how to stop it*. New Haven og London: Yale University Press, 2008 (se s. 2, 18, 19, 77).
- [148] Jonathan L Zittrain. «The Generative Internet». I: *Harvard Law Review* 119.7 (2006), s. 1974–2040 (se s. 18).
- [149] Stig Øyvann. *En million timer med tv-bilder*. 2010. URL: <http://www.insidetelecom.no/artikler/en-million-timer-med-tv-bilder/130305> (Sist besøkt 10.05.2013) (se s. 64).